

2. Eq. No. 103



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

Facultad de Química

**ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN PARA UN  
SISTEMA DE LAVADO EN TRES ETAPAS DE UNA  
PLANTA DE CELULOSA.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A:

*Alejandro Vera Mondragón*



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## I N D I C E

### Introducción:

#### I) Generalidades sobre lavado

##### 1.1) Equipos de lavado usados en la Industria

#### II) Lavado de Celulosa

##### 2.1) Propiedades del Licor

##### 2.2) Equipo Empleado

##### 2.3) Operación de Lavado

##### 2.4) Efecto de las Variables de Operación

##### 2.5) Aspectos Mecánicos que promueven una mejor relación de desplazamiento

##### 2.6) Aspectos Importantes sobre el equipo utilizado

#### III) Balance de Materia

#### IV) Análisis de las variables de operación

##### V) Operación Recomendada

#### VI) Conclusiones

## INTRODUCCION

La elaboración de celulosa para producir papel utiliza como fuente principal de materia prima a la madera, la cual se recibe en Raja y sin corteza para después ser transformada en astillas las cuales se envían a los digestores en donde se les agregan reactivos químicos y vapor para su cocción. Operación que tiene por objeto extraer la lignina compuesto orgánico que se encuentra en las fibras de celulosa y que actúa como cementante.

Después del cocimiento la celulosa se envía a una etapa de depuración en el cual se separan las astillas de gran tamaño que no se cocieron adecuadamente. A continuación la suspensión formada de celulosa y Licor Negro circula a través del sistema de lavado en el cual se separa la celulosa y el Licor Negro. Para esta separación el sistema de lavado está compuesto por tres etapas a contracorriente es decir, en la tercera etapa la celulosa se lava con agua caliente y limpia el filtrado de esta etapa se usa para lavar la celulosa de la segunda y a su vez con el filtrado de la segunda se lava la celulosa de la primera y el filtrado de ésta que es Licor Negro concentrado se envía al proceso de recuperación. Mientras que la pulpa puede enviarse al sistema de blanqueo.

Este momento es muy importante en el proceso pues el Licor Negro que se halla desplazado en el sistema de lavado y el cual se enviará a un sistema de recuperación para utilizarlo nuevamente en la etapa de digestión dependerá de la manera de operar dicho sistema.

Por otro lado la operación de blanqueo está íntimamente ligada a la eficiencia en el lavado de la pulpa. De esta manera, la etapa de lavado es un punto muy importante en el proceso de obtención de celulosa por lo que vale la pena de alguna manera mejorar la operación de este sistema con el fin de obtener el mayor beneficio posible.

**C A P I T U L O I**  
**GENERALIDADES SOBRE LAVADO**

## GENERALIDADES SOBRE LAVALO

Se le llama lavado a la eliminación de sustancias e impurezas solubles mecánicamente adheridas a la superficie de sólidos insolubles o que presentan una solubilidad menor a la de la sustancia indeseable, mediante el tratamiento por disolventes.

Esto quiere decir que no necesariamente el producto a lavar debe ser insoluble al disolvente utilizado, pero si se requiere que sea menos soluble a la sustancia por eliminar.

Como ejemplo de esta situación tenemos la eliminación de cloruros de las tortas de bicarbonato de sodio para la obtención de carbonato de sodio.

En la mayoría de los casos la sustancia a eliminar mediante disolventes es una impureza inconveniente, pues le resta calidad al producto.

Sin embargo en algunos casos el material valioso es la sustancia soluble o la más soluble.

El disolvente empleado para el lavado puede ser puro o puede contener una concentración menor que de la sustancia adherida al sólido.

El agua es el disolvente que interviene en la mayoría de los casos, pues el comportamiento de soluciones acuosas es el que más se ha estudiado. Sin embargo no necesariamente debemos utilizar H<sub>2</sub>O como disolvente.

La finalidad perseguida en el lavado es recuperar o eliminar la mayor cantidad posible de la sustancia disuelta o de la sólida o bien recuperar ambas a la vez.

Tiene por objeto también recuperar cada sustancia con el mínimo posible de contaminación por la otra y en forma tan pura como pueda conseguirse. La causa de la existencia de impurezas en el producto final puede deberse a impurezas propias de la materia prima, productos de reacción y sustancias agregados durante el proceso, lo cual hace necesario - en alguna etapa del proceso incluir un sistema de lavado - mediante una o varias aplicaciones de agua o de otro agente apropiado de desplazamiento.

Por ejemplo, en la fabricación de Sosa Caústica electro-lítica, el lavado de la sal tiene por objeto no sólo recuperar la sal con la menor cantidad posible de caústica para - poderla vender como tal o para recircularla en las celdas electrolíticas, sino también recuperar la solución diluida de Sosa Caústica reduciendo al mínimo el lavado con objeto de facilitar y hacer más económica la evaporación del licor.

En la industria, el equipo de lavado utilizado dependerá del proceso, por tanto, existe una gran variedad de - estos equipos. A continuación se presenta una explicación general de algunos de los equipos mas comunmente usados.

#### EQUIPOS DE LAVADO USADOS EN LA INDUSTRIA

- 1.- Clasificador Dorr de Plataformas Multiples
- 2.- Clasificadores Akins
- 3.- Espesador lavador de Charolas Dorr
- 4.- Cilindros Rotatorios a vacío
- 5.- Lavadores de gases

1.- Clasificador Dorr de plataformas multiples, este aparato utiliza alternamente una solución de desplazamiento y un proceso de escurrimiento para realizar el lavado de -- sustancias solubles contenidos en sólidos granulados inso - lubles.



## 2.- CLASIFICADORES AKINS

Existe otro tipo de clasificadores como el mostrado - en la figura (2) llamados clasificadores AKINS y pueden - disponerse uno tras otro dos ó mas clasificadores para el lavado a contracorriente.

Los sentidos de circulación de la solución de lavado y de los sólidos son idénticos a los del clasificador Dorr para lavado.

En este caso el lavado se realiza en un clasificador independiente en lugar de compartimientos individuales de una máquina única (como sucede en el clasificador Dorr).

En este equipo se utiliza un transportador de espiral - de movimiento lento en lugar de los rastrillos de vaiven.

Este aparato suele utilizarse en procesos como: mismos usos de clasificador Dorr de plataformas múltiples.

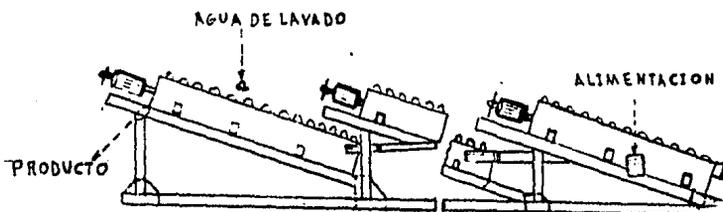


Fig. (2)

### 3.- ESPESADOR LAVADOR DE CHAROLAS DORR

Este sistema esta formado por diversos compartimientos de sedimentación sobre puestos que funcionan en serie.

La pulpa de alimentación se introduce en el compartimiento superior, y desde este rebose una solución concentrada mientras que en el último compartimiento (el más bajo) se introduce agua de lavado.

En este espesador los cinco compartimientos funcionan en serie para dar cinco etapas de contracorriente.

Este aparato equivale por su capacidad lavadora a cinco sedimentadores unidos en serie de manera corriente este tipo de espesador esta representado en la figura (13).

Y se utiliza normalmente en procesos como: La clarificación del guarapo en la obtención de azúcar pues en este tipo de proceso se requiere recuperar la sustancia soluble.

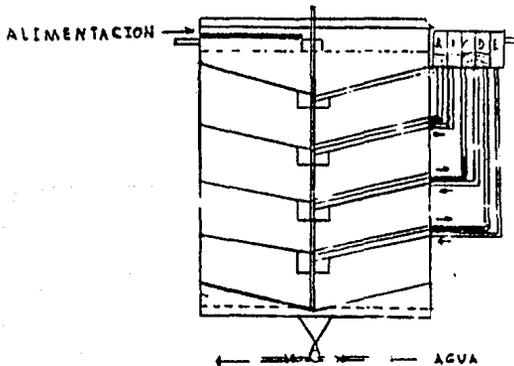


Fig. (13)

En el espesador anterior los sólidos descienden por la bajada de un compartimiento a otro a contracorriente - con la solución de lavado y finalmente el líquido se aclara, de esta forma los sólidos transfieren sus elementos disueltos a la solución de lavado, finalmente para que después una bomba de diafragma los desaloje del compartimiento inferior - virtualmente libre de productos valiosos. Análogamente el agua de lavado a medida que circula por el sistema se enriquece cada vez mas en la sustancia soluble hasta que rebosa del compartimiento y retorna al proceso.

#### 4.- CILINDROS ROTATIVOS A VACIO

En todos los filtros continuos de vacio se aspira el líquido a través de un medio filtrante móvil, depositándose una torta de sólidos. Esta se saca de la zona de filtración, se lava, se seca por aspiración y se descarga del medio filtrante que entra nuevamente en la suspensión para tomar otra carga de sólidos.

Una parte del medio filtrante esta en todo momento en la zona de filtración, otro en la zona de lavado y otra en la zona de descarga de sólidos, de forma que tanto la descarga de sólido como la de líquido son continuas.

El tipo de filtro mas común es el de tambor rotatorio representado en la figura (4).

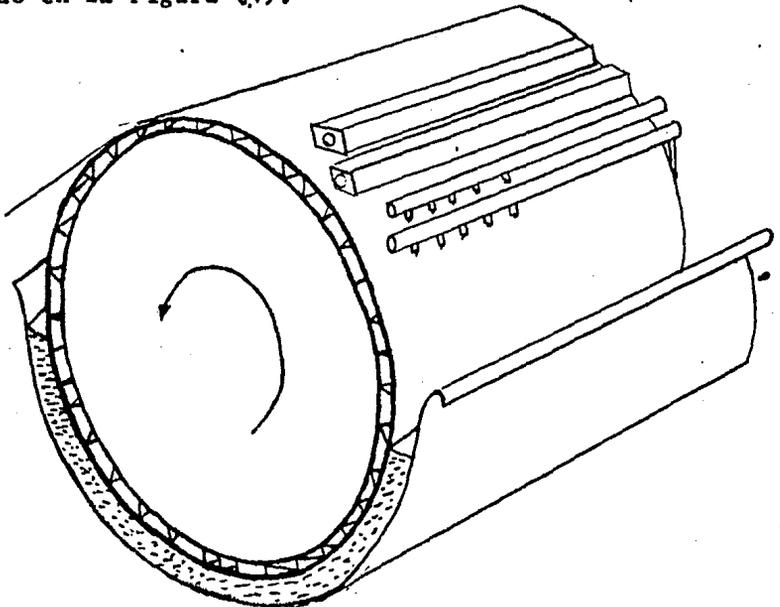


Fig. (4)

Cuando es preciso lavar cuidadosamente sólidos que -  
escurren fácilmente, puede usarse el filtro horizontal co-  
mo el que se muestra en la fig. (1.5).

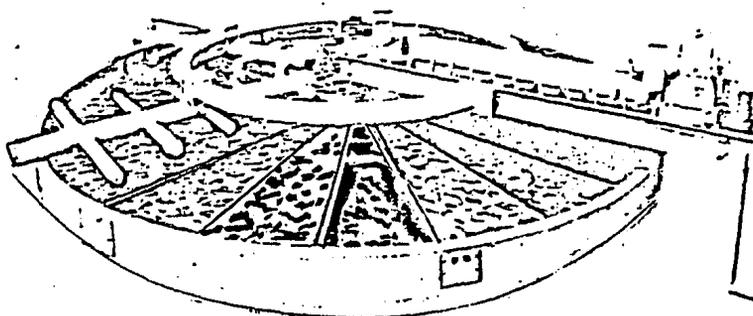


Fig. (1.5)

Este consiste en un depósito horizontal en forma de a-  
nillo que tiene un fondo falso recubierto con una tela pla-  
na. El depósito gira lentamente alrededor de un eje central.

El espacio por debajo del fondo falso está dividido -  
en compartimientos y una gran válvula rotatoria: aplica va-  
cío a cada compartimiento y lo interrumpe a intervalos a -  
propiados.

Estos filtros tienen capacidades muy grandes cuando o -  
peran con sólidos que escurren fácilmente.

### 5.- LAVADORES DE GASES O SCRUBBERS.

Para la separación de sólidos o líquidos arrastrados por una corriente de gases, existe una gran variedad de lavadores los cuales en su mayoría operan a contracorriente entrando el gas por la parte inferior del aparato y el agua por la superior. En la fig. (6) se muestra un aparato de este tipo, que consiste:

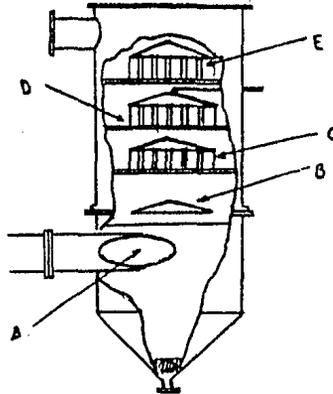


Fig. (6)

En un envoltente cilíndrico con fondo cónico, el gas que lleva las partículas suspendidas entra tangencialmente en A y sube a través de cortinas de agua o cualquier otro líquido que cae por los deflectores cónicos B., estos deflectores están montados sobre una serie de paletas estacionarias "C" que a su vez van soportados por armaduras circulares "D".

El líquido que se utiliza en el proceso se introduce por la parte superior de los deflectores, la eliminación de las gotitas de líquido que arrastra el gas se efectúa en el separador "E".

Otro tipo de lavador de gases es el lavador venturi - de uso común en la eliminación de las nieblas del ácido - sulfúrico.

Este dispositivo consiste en un tubo de venturi, con el gas fluyendo a lo largo del tubo, exactamente en la - garganta aguas arriba se introduce el líquido de lavado con una presión baja (0.35 a 1.05 kg/Cm<sup>2</sup>), el cual es esreado para tener una cortina de líquido.

El gas a una velocidad de 60 a 120 m/seg choca con - este líquido de manera que la lamina que forma el líquido se rompe y las partículas del líquido se aceleran rápidamente.

A medida que la velocidad del gas disminuye en la - sección divergente, las pequeñisimas partículas que lleva el gas se mojan con las gotitas finalmente divididos del líquido y se verifica una aglomeración de las partículas.

La descarga del lavador va a dar a un ciclón separador donde las partículas ya unidas se separan de la corriente gaseosa.

**CAPITULO II**  
**LAVADO DE CELULOSA**

## LAVADO DE CELULOSA

En la fabricación de pulpa ya sea por el proceso a la sosa ó bien por el proceso al sulfato se utiliza un licor para la cocción de la madera. Este licor contiene principalmente Hidróxido de Sodio y para el caso del proceso al sulfato, éste contiene además sulfuro de sodio con el cual se logra una cocción mas rápida así como una mayor resistencia en la pulpa.

Una vez que el ciclo de cocción ha terminado la pulpa y el licor se soplan dentro de un tanque de descarga. En este licor mas comunmente conocido como Licor Negro, se encuentran disueltos los productos de reacción, de cuya composición hablaremos mas adelante así como la lignina y otros sólidos se hablara de la madera.

Esta mezcla de pulpa y licor se envía a unos separadores de nudos en los cuales se eliminan pequeños trozos de madera crudos, para después ser enviada al sistema de lavado en donde ese residuo soluble de la cocción es recuperado. La razón para que exista un sistema de lavado para recuperar este residuo soluble responde a dos necesidades, una de tipo económico y la otra de tipo ambiental.

Esto es, los reactivos de cocción o digestión son muy caros de producir pero fácilmente regenerables a partir de este licor. Por lo tanto su recuperación representa un beneficio económico muy grande.

Por otro lado los productos de la digestión son muy tóxicos por lo cual no pueden ser desechados en los efluentes pues desde el punto de vista de contaminación es prohibitivo.

## PROPIEDADES DEL LICOR NEGRO

Como ya se habia mencionado antes el Licor Negro consiste en los productos de cocción mas los residuos de la madera que principalmente estan formados de lignina.

Este licor tiene un intenso color negro, variando su tono rojizo y conservando el color amarillo oscuro de la paja aun cuando se diluya con agua hasta una concentración de 0.04 de sólidos. A alta concentración es muy viscoso - además de tener una marcada tendencia a formar espuma.

En el proceso de obtención de pulpa Kraft el contenido de sólidos en el licor se determina con el hidrómetro Baumé.

En terminos aproximados el % sólidos es igual a 1.5 - veces la lectura en el Baumé a 16 °c. Aunque este factor es particular de cada fábrica.

Aunque de fábrica en fábrica existe una variación en el Licor Negro la mayor parte del álcali presente en él, está en forma de carbonatos, sulfuros, u otros compuestos asociados con los anteriores.

La formación del carbonato se debe a una reacción directa entre la materia orgánica de la madera y el hidróxido de sodio del Licor Blanco usado en la digestión.

Los compuestos orgánicos de azufre se encuentran en el proceso al sulfato asociados al sulfuro de sodio, además en el Licor Negro pueden existir pequeñas cantidades de sulfato de sodio y de Silice (SiO<sub>2</sub>). La concentración del Licor Negro que va del sistema de lavado al sistema de evaporación depende de los sólidos totales cargados al digestor, del vapor usado en la cocción y de la operación de lavado.

Quando la digestión se esta haciendo con vapor directo y dependiendo del número de pasos de lavado el rango normal de sólidos a los evaporadores varía de 15 a 18 %. La temperatura del licor a los evaporadores varía de acuerdo a la temperatura del agua caliente empleada para el lavado la cual esta comprendida de 160 a 205 F. .

Es impracticable eliminar completamente los compuestos de sodio de la pulpa recién cocida pero existen límites de concentración de sodio que son indicios de un lavado eficiente.

Una indicación de la operación del lavador que se puede obtener de datos de operación es la que se conoce como factor de dilución o sea las libras de agua por libras de pulpa.

Uno de los factores involucrados en este cálculo es la pérdida en el lavador o sea las libras de sodio como sulfato de sodio que salen de los lavadores con la pulpa.

#### EQUIPO EMPLEADO

Dos tipos de equipo de lavado es usado para la eliminación de Licor Negro que son el difusor y el filtro de tambor rotatorio a vacío.

El lavado a vacío presenta algunas ventajas con respecto al sistema de difusores los cuales son:

- 1.- Sistema cerrado el cual no tiene pérdidas de fluido y por lo tanto reduce la contaminación de corrientes
- 2.- Bajos costos de mantenimiento
- 3.- Menor dilución del Licor Negro
- 4.- Bajas pérdidas de calor.
- 5.- Mayor flexibilidad en la velocidad de Producción

El filtro de tambor rotatorio al vacío arreglado para el lavado en múltiples etapas a contracorriente se ha convertido en el equipo estándar, en la mayoría de las fábricas de pulpa en los Estados Unidos y Canadá. Los difusores fueron usados hasta aproximadamente el año de 1935, sin embargo se ha considerado a los lavadores a vacío no recomendables para el lavado de la pulpa de maderas resinosas ya que los problemas de espumación que se presentan son graves.

Este defecto de la espumación fué vencido con el mejoramiento en el diseño de filtros el cual evita la entrada y el contacto de aire con el licor.

Así en la mayoría de las fábricas de pulpa para separar el Licor Negro y lavar la pulpa se emplean lavadores de tambor rotatorio a vacío en varios pasos la fig. (2.1) - se ilustra los principios generales de operación de un lavador a vacío típico de tambor rotatorio.

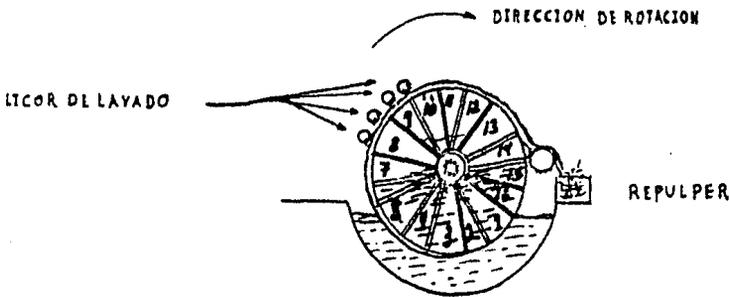


Fig. (2.1)

Un gran tambor cilíndrico recubierto con una tela metálica gira dentro de una caja llena hasta el nivel deseado, con suspensión diluida.

El tambor esta dividido en varias secciones como se muestra en la fig. (2.2), las cuales desempeñan diferentes funciones.

Las secciones del 1 al 6 son las secciones de formación de la hoja. Es decir el vacío formado en esta sección hace pasar el licor de la caja a través de la superficie metálica y la pulpa forma una torta sobre dicha tela.

En las secciones 7 y 8 se succiona el exceso del licor de la torta de pulpa.

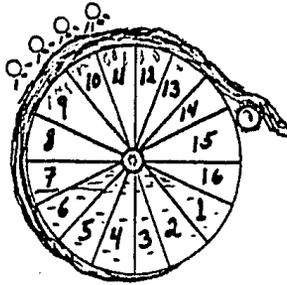


Fig. (2.2)

En las secciones 9, 10 y 11 se rocía agua de lavado o licor diluido sobre la torta y el vacío succiona de la torta el Licor Negro desplazado.

En las secciones 12, 13 y 14, se aplica un vacío mas alto y se succiona de la torta el exceso de agua de lavado.

Generalmente el vacío se forma por una pierna barométrica de licor. Las secciones 15 y 16 no tienen vacío que sostenga la torta contra el tambor y un rodillo las separa del mismo. En estas dos últimas secciones se puede introducir aire comprimido para ayudar a la torta a separarse del tambor.

Luego la torta se vuelve a poner en suspensión con agua fresca o con más Licor Negro diluido y continua lavandose de la misma manera, en el siguiente paso del sistema de lavado en varios pasos.

El otro metodo de lavado como ya se había dicho anteriormente, utiliza difusores los cuales son básicamente grandes tanques con falsos fondos de placas perforados tal como se muestra en la figura (2.3)

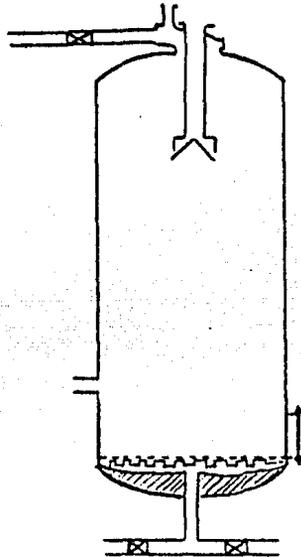


Fig. (2.3)

La forma de operar estos difusores es: La suspensión y el Licor Negro de los digestores se descargan directamente dentro del difusor por la abertura "A" sin emplear tanque de descarga. La pulpa es desviada por el deflector "B" y se distribuye en el tanque.

El vapor de descarga escapa por la abertura "C" hacia un ciclón en donde se recupera la pulpa que hubiera podido arrastrarse del ciclón, el vapor de descarga va hacia unos cambiadores de calor donde se recupera su energía.

Cuando el digestor se ha vaciado en el tanque difusor, el licor drena por el falso fondo de placas reforzadas "D" con perforaciones y se bombea hacia el almacenamiento de Licor Negro.

En seguida por "E" se admite licor de un difusor adyacente y la pulpa se lava hasta que el contenido de sólidos del licor drenado llegue a un valor predeterminado.

En este momento se cambia el licor de lavado por agua fresca y el lavado continua hasta que la pulpa este limpia, desviandose entonces el licor de drenado hacia otro difusor que contenga pulpa recién descargada.

Después que la pulpa se ha lavado suficientemente se abre la compuerta "F" y la pulpa se saca con el agua que entra por "G" y/o por una manguera hacia el tanque de almacenamiento situado abajo.

Este lavado en difusor es en realidad un sistema de lavado en dos pasos, en el cual para lograr los mejores costos se busca un balance entre el agua de lavado; la limpieza de la pulpa y las pérdidas que van al drenaje.

### OPERACION DE LAVADO

Como se mencionó anteriormente, una típica operación de lavado esta compuesta por una serie de filtros de tambor rotatorio a vacío con repulpers intermedios para redilución y agitación de la pulpa.

Casi todos los sistemas en los Estados Unidos, usan un simple licor desplazado en cada lavador y por lo tanto este sistema será descrito y mostrado en flujo de pulpa en la figura (2.4)

Aunque este sistema de lavado y su operación puede ser compleja, los fundamentos son tan simples como aquellos de los viejos lavadores de ropa.

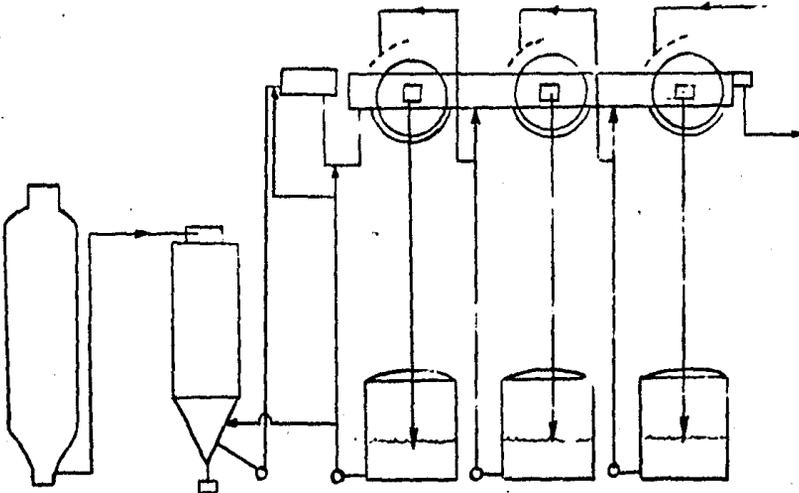


Fig. (2.4)

Cuando una cantidad límite de agua es disponible, el lavado es mejor realizado tallando la ropa en una parte de agua, exprimiendo completamente y repitiéndolo muchas veces.

En el lavado de la pulpa este es el proceso esencial excepto, que esto es sobre una base continua con pequeñas -cantidades de agua agregadas en la última etapa "A" y con una cantidad semejante fluyendo hacia la etapa intermedia y luego hasta llegar a la primera etapa.

El líquido que entra al sistema en la soplada y la cantidad de agua agregada en la última etapa, menos el agua en la torta en el punto "D" nos dan idea de la trayectoria que siguen los sólidos solubles desde que entran hasta que llegan al sistema de evaporación.

El filtro a vacío es excelente para la reducción de sólidos solubles, porque permite que el líquido que entra a cada etapa desplace sólidos y se enriquezca de estos, después de haber estado en contacto con la torta que viaja en la superficie del filtro (F).

Una uniforme aplicación del licor de lavado logrará - un alto grado de desplazamiento de el licor, en las tinas - al licor en la torta por lo cual resulta una alta relación de desplazamiento.

Aunque el desplazamiento de el líquido de lavado en la torta es importante, el trabajo esencial es hecho en los llamados repulpers entre cada etapa, pues ahí la pulpa espesada que sale de la superficie de cada cilindro es lavada pero con movimiento y mezclada con licor en la etapa subsecuente.

Aquí las fibras son agitadas en una mezcla de baja consistencia, con el fin de lograr una concentración mínima de sólidos disueltos previa a la siguiente etapa de filtración a vacío.

Una baja consistencia en la tina provoca una fuerte difusión del licor en las paredes de la fibra. En un sistema de lavado el efecto de algunas variables complejas no ha sido - correlacionado, así pues en un sistema de múltiples etapas puede calcularse directamente sin el uso de algunos datos empíricos. Sin embargo, es indudable el efecto de las características de la pulpa así como las características del licor en la operación de lavado, el efecto que ha sido analizado.

Por ejemplo una fibra lisa y suave de bajo rendimiento de pulpa será mas fácil de lavar que una fibra dura de alto rendimiento de pulpa.

La operación de lavado de un sistema a contracorriente puede ser considerado como resultado de dos operaciones.

- 1.- Dilución y agitación del caudal contenido en las -  
tinas con licor débil y el subsecuente espesamiento en el tambor del filtro.
- 2.- Desplazamiento del licor en la torta mediante el -  
lavado con licor sobre el tambor del filtro.

Expresando el lavado como la reducción de sólidos solubles una medición de la efectividad del lavado es la reducción lograda comparadas con la máxima reducción posible.

Considerando un sistema de una sola etapa con un % de - sólidos en la tina (% Sv), lo que sale en la pulpa (% S), lo aplicado en el lavado (% Ss) y (Wp) como las libras de licor por libras de pulpa.

La reducción máxima posible en los sólidos solubles por lavado es:

$$Wp (Sv - Ss)$$

La reducción real de sólidos solubles estará dada por:

$$Wp (Sv - S)$$

Así dividimos (Sv - S) por (Sv - Ss) encontraremos la reducción real en los sólidos a la reducción máxima posible,

Por otro lado, la máxima reducción ocurre cuando todo el licor en la torta ha sido desplazado por el líquido de la vado y entonces la eficiencia en el lavado puede ser expresada por (Ws/Wp) donde (Ws) es igual al licor residual en la - torta de salida expresada en libras por libras de pulpa. Las dos expresiones de eficiencia son las mismas.

### EFECTO DE LAS VARIABLES DE OPERACION

En la primera etapa la relación de desplazamiento es - relativamente alta porque la pulpa y su licor están prácticamente libres de aire y estará en el rango de 0.8 a 0.92 - dependiendo del factor de dilución.

Los factores que ayudan a tener una buena relación de - desplazamiento en la primera etapa es la cantidad de agita - ción que reciba la pulpa en el tanque de soplado, el bombeo a través del sistema, la agitación en los vibradores y la - ausencia de aire.

Como la pulpa no esta sujeta a ningun tipo de acción - mecánica de refinamiento en el paso de una etapa a otra la - disminución en la drenabilidad es atribuida al arrastre de - aire en la primera etapa.

Es bien sabido que las pequeñas burbujas de aire que - vienen con la torta, actúan como partículas durante la filtra - ción. Estas burbujas no pasan a través de la torta por lo que - llenan los huecos entre las fibras impidiendo la libre drena - bilidad del licor.

Así pues, estas burbujas bajan la eficiencia de lavado al disminuir la difusión a través de la torta.

Además debido a las canalizaciones el licor, no tiene contacto con todas las fibras.

La relación de desplazamiento de las etapas intermedias, esta en el rango de 0.5 a 0.7 dependiendo del factor de dilución. En la última etapa en donde se agrega el agua fresca caliente la relación de desplazamiento varía entre 0.55 a 0.7.

Sin embargo, es posible elevar la eficiencia total del sistema o bien la de alguna etapa con la manipulación de las variables, dependientes para eliminar el aire en la torta que sale de los cilindros.

#### ASPECTOS MECANICOS QUE TIENEN UNA MEJOR RELACION DE DESPLAZAMIENTO

Nunca es recomendable trabajar con lavados deficientes y luego compensarlos con lavados excesivos pues ya de nada sirve.

Modificando el factor de dilución podemos obtener un valor óptimo de relación de desplazamiento. Ahora es importante asegurar un alto método de control para asegurar que cada fibra reciba el mismo tipo de tratamiento.

Aunque día con día esto no es posible, ciertos elementos dentro del sistema pueden ser regulados para obtener un máximo efecto.

El factor de dilución esta relacionado intimamente con el sistema de evaporación, pues la cantidad manejada en este depende de la concentración de Licor Negro. Por lo tanto, es necesario mantener una relación constante entre la cantidad de licor lavado y la pulpa que se va a lavar. Además de una consistencia de torta constante.

El agua de lavado es fácilmente controlable y el flujo de madera alimentada al sistema es también controlable. Así pues es necesario, que el operador mantenga una dilución en las tinajas y una velocidad en los cilindros para obtener un óptimo en la consistencia de la torta.

Por esta razón, la digestión continua, tiene una ventaja sobre el proceso batch que consiste precisamente en que el flujo de madera alimentada es prácticamente constante por lo cual, no se requiere estar variando la velocidad.

Es necesario además cuidar la sumergencia del cilindro de acuerdo a la consistencia en las tinas y con una determinada velocidad en el cilindro.

Es muy importante tener en cuenta que una buena formación de torta promueve una buena relación de desplazamiento. Esta formación es función de la consistencia en la tina y de la cantidad de agitación en el repulper intermedio.

La aplicación del líquido de lavado debe ser uniforme - con la menor turbulencia posible, con el fin de reducir la formación de espuma.

Para evitar la formación de espuma se recomienda la eliminación del jabón del Licor Negro, el cual es colectado sobre la superficie de la primera etapa, esto se logra con - relativa facilidad pues se ha visto que el jabón tiende a - flotar cuando la concentración de sólidos en el licor es del 15%.

#### ASPECTOS IMPORTANTES SOBRE EL EQUIPO UTILIZADO

El equipo utilizado consta de filtros de tambor rotatorio como el que se muestra en la fig. (2.5), el cual consiste en un tambor "A" de chapa metálica que puede tener un diámetro de 30 cm a 4.5 m y una longitud de 30 cm a 6 m.

Este tambor esta soportado por muelles "B". El material que ha de filtrarse esta contenido en el depósito inferior "C". La superficie del tambor esta dividida en una serie de secciones por láminas "D", paralelas al eje del tambor y soldadas a la envuelta.

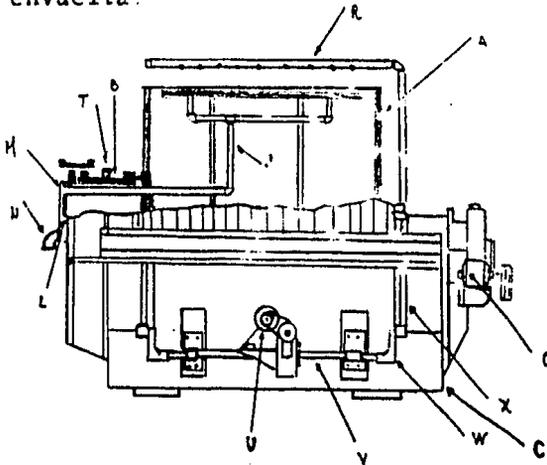


Fig. (2.5)

Entre las láminas existe algún dispositivo para mantener el medio filtrante separado del tambor en este caso tiras estrechas de metal ondulado "E".

Sobre ellos van colocados hojas de tela metálica o paneles de metal perforado "F".

Estos van cubiertos por las telas filtrantes "G", mantenidos en su sitio por medio de arrollamientos de alambre "H". La tela puede calafatearse en las ranuras que separarán las láminas "D".

En cada sección una ó mas tuberías "J" conducen a aberturas en el plato "K", que cierra uno de los extremos del muñón. Este plato tapa se suministra normalmente con un plato recambiable "L". Las aberturas en los platos "K" y "L" son las mismas. A través de un plato válvula estacionario se establece la conexión con el receptor de filtrado (bajo vacío parcial) por medio de la tubería "N". También existe en el plato estacionario una conexión para aire comprimido.

El tambor gira muy lentamente normalmente menos de una revolución por minuto mediante el motor "O", que mueve (por medio del engranaje de reducción y dispositivo de velocidad variable) el tornillo sin fin "P", que mueve a su vez el tambor por la rueda de engranaje para tornillo sin fin "Q". Un agitador colgado de los muñones con cojinetes "T", se hace oscilar por el motor y engranaje de reducción "U", eje "V", manivelas "W", bielas "X" y palanca de forma especial "Y".

Quando el tambor gira y una sección dada esta exactamente sumergida en la sustancia a lavar, su tubería "J", pasando al plato "L", queda bajo una conexión del plato válvula "M" que se pone bajo vacío. Así se forma la torta y el filtrado sale a través de "N" al receptor. Las toberas rociadoras "R" lavan la torta; el plato válvula puede construirse de forma que la filtración y el lavado pueden salir separados o combinados en una sola corriente. Normalmente el ciclo esta dispuesto de manera que después del lavado posee una cierta cantidad de aire a través de la torta para desplazar el agua de lavado.

Durante todo este tiempo la sección ha estado bajo vacío. Finalmente su tubería "J" llega a la conexión para aire comprimido en el plato válvula "M", la torta se suelta y finalmente se desprende por medio del cuchillo "Z".

En la fig. (2.6) se representa diagramaticamente la construcción de la válvula. La válvula de cierre o plato recambiable esta unido al tambor, gira con el y cuando se gasta se renueva.

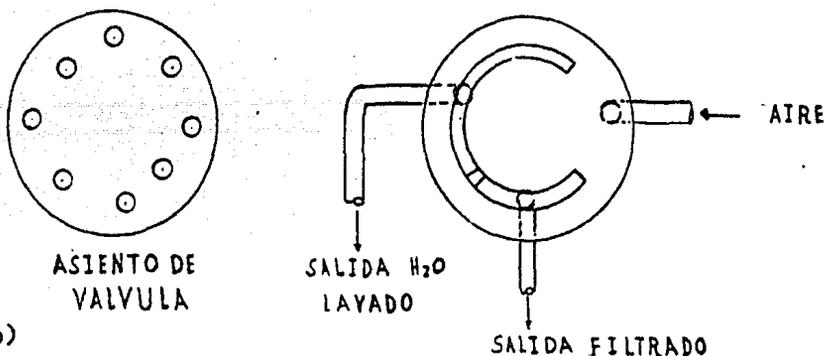


Fig. (2.6)

Las diferentes tuberías que conectan a las diferentes secciones del tambor se unen a este plato válvula. Cada agujero en el, representa una sección del tambor. El plato estacionario se comprime fuertemente contra este plato válvula y no gira. Lleva conexiones para las salidas de filtrado y agua de lavado, que a su vez, van unidos a los receptores y estos van unidos a un sistema de vacío que puede ser bomba o pierna barométrica que hace la succión.

Alrededor de la circunferencia en que van los agujeros del plato válvula lleva el plato fijo un canal circular; - este canal muestra en la figura dividido en dos partes, una de ellas conectada a la salida de filtrado y la otra a la salida de agua de lavado.

La división entre las dos partes se efectúa por medio de un bloque ajustado que se puede cambiar de posición para regular la separación entre el filtrado y el lavado. El aire comprimido se conecta a una pequeña abertura de soplado en uno de los lados del plato fijo.

Cuando la válvula gira los agujeros a las que están unidas las tuberías que comunican con las diferentes secciones del filtro van pasando sucesivamente por el canal de filtrado, después por el canal de lavado y finalmente por el agujero de soplado. El filtrado y el lavado pueden recogerse separadamente, aunque con frecuencia es más conveniente recogerlos juntos.

Para la eliminación del licor y aire a través de la misma pierna, es necesario contar con una longitud aproximada de 20ft a 30 ft.

Esta caída es la que provoca el vacío en el cilindro. Existen ciertos diseños que requieren de bombas de vacío - aunque si contamos con la altura suficiente es mejor colocar la pierna. Un segundo tipo de cilindro utiliza una pierna - barométrica corta.

Sin embargo, esta pierna debe permitir el desalojo del Licor Negro y del aire que entra al filtro. Para la pulpa - Kraft los cilindros y las tinas son fabricados de acero Mild además de incluir acero inoxidable.

Solo bajo ciertas condiciones se tiene que fabricar completamente de acero inoxidable. Porque además existe un amplio rango en la combinación de estos dos materiales.

Por otro lado, tenemos la existencia de repulpers cuyo objeto es agitar las fibras de tal forma que haya un buen - mezclado con el licor de la tina.

El repulper final se usa para revolver la pulpa y de esta manera poder manejarla para el resto del proceso.

CAPITULO III

BALANCE DE MATERIA. -

### BALANCE DE MATERIALES PARA UNA PLANTA DE 300T/D

Para realizar un balance de materiales en un sistema de lavado, es necesario definir la eficiencia de lavado pues de esta definición dependerá la forma de las ecuaciones resultantes que servirán mas tarde para un análisis de variables de operación.

El lavado de celulosa da la idea de un desplazamiento por lo cual, se puede definir una eficiencia de desplazamiento. Es decir la pulpa trae consigo Licor Negro el cual se quiere eliminar de la pulpa, así la eficiencia sera la fracción del líquido de lavado que desplaza una cantidad igual del líquido que impregna la torta de pulpa. Este concepto se ilustra en la figura (1).

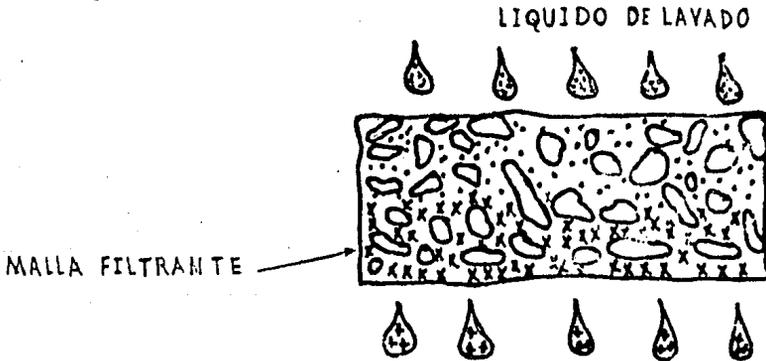


Fig. (1.1)

LIQUIDO IMPREGNANTE

Si suponemos que un corte transversal de la torta de pulpa queda representado en la figura (1a) el desplazamiento ideal durante el lavado sería como en la figura (1b) en donde nada queda del líquido impregnante detras del frente de desplazamiento.



Fig. (1.1a)

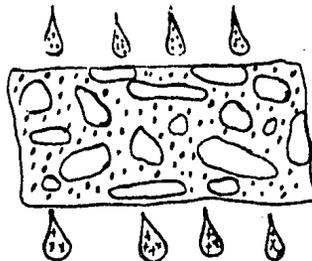


Fig. (1.1b)

El caso real estaría representado en la figura (1.2) pues siendo la torta de pulpa un arreglo de fibras al azar, en donde hasta puede haber inclusiones de aire la sección disponible para el flujo del líquido es muy variable y por lo tanto, se pueden formar canalizaciones en aquellos lugares resultantes de una sucesión de secciones amplias de flujo.

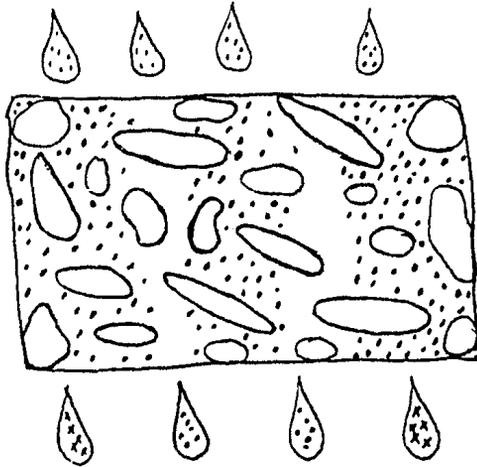


Fig. (1.2)

Por esas canalizaciones pasa una fracción del líquido de lavado, esta fracción no desplaza líquido impregnante una vez que se formó la canalización. El resto del líquido de lavado si desplaza líquido impregnante y esto es precisamente a lo que se le propone llamar Eficiencia de Desplazamiento.

Idealmente para una eficiencia de desplazamiento, la ineficiencia correspondiente hará variar los resultados dentro de una gama comprendida entre dos casos extremos, esto es si una fracción del líquido de lavado desplazó líquido impregnante, entonces ¿Qué paso con la otra fracción? para contestar esta pregunta se dice que existen dos casos extremos, uno en el cual dicha fracción pasa inalterada a través de canalizaciones como en la figura (13a) y el otro caso en donde se mezcla completamente con el líquido impregnante dentro de la torta y que se desplaza hacia el filtrado, la mezcla resultante como se trata de ilustrar en la figura (13b)

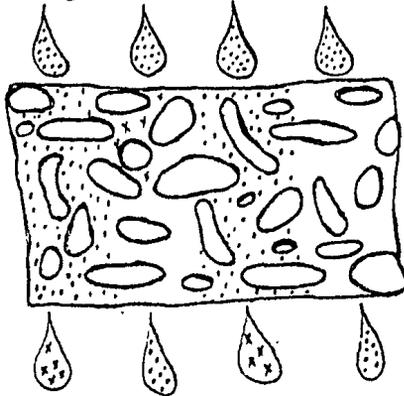


Fig. (13a)

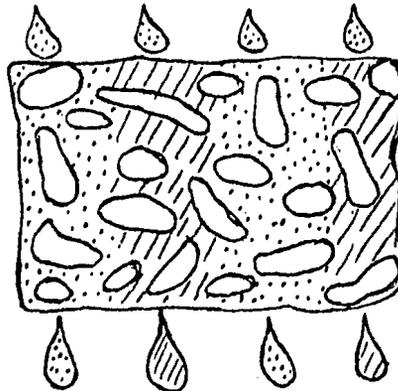


Fig.(13b)

Ejemplos para el primer caso podrían ser el lavado de lodos de caustificación (se cuartea la torta) y quizá a proximadamente el lavado de pulpas con chorros intensos que momentaneamente remueven la torta. El caso representado por la figura (3b) podría ser el de un lavado lento de la torta celulósica con paso simultaneo de aire que estimula la mezcla.

En este trabajo se presenta el caso en el que se forman canalizaciones. En la figura (4) se ilustra esquemáticamente el mecanismo del lavado continuo de una torta de celulosa. Debemos considerar fija a la caída del líquido de lavado y a la torta de celulosa moviéndose de izquierda a derecha.

Para explicar este mecanismo de lavado hipotéticamente - el líquido de lavado  $L$  se divide en dos fracciones: la eficiencia y la ineficiencia de desplazamiento. La consistencia de la torta de pulpa no cambia despues de pasar bajo las regaderas, lo cual es cierto al cabo de la distancia adecuada.

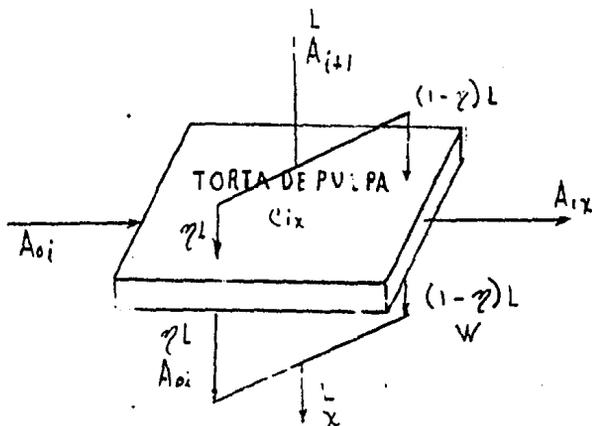


Fig. (14)

Esta consistencia es  $C_{ix}$ , el líquido que impregna la torta tiene concentraciones  $A_{oi}$  y  $A_{ix}$  antes y despues del lavado.

Siempre que la fracción del líquido de lavado que desplaza idealmente sea menor que el líquido contenido en la torta o sea:

$$\eta L \leq (1/C_{ix} - 1) \text{ --- (1)}$$

De acuerdo con la figura (4) la cantidad de sólidos - en el filtrado esta dado por:

$$X L = \eta L A_{oi} + (1 - \eta) L W$$

Considerando que hubo canalizaciones y que el líquido de lavado paso inalterado entonces.

$$W = A_{i+1} \Rightarrow X L = \eta L A_{oi} + (1 - \eta) L A_{i+1}$$

De aquí obtenemos que:

$$X = \eta A_{oi} + (1 - \eta) A_{i+1}$$

Rearreglando la ecuación tenemos:

$$X/A_{oi} = \eta + (1 - \eta) A_{i+1}/A_{oi} \text{ - - - - - (2)}$$

La condición enunciada en la ec (1) se da en casi todos - los casos reales de lavado de celulosa, si por el contrario se agrega mas líquido L, será necesario modificar la ecuación (2) pero los conceptos manejados no viarian.

Con la disponibilidad del moderno equipo de cálculo es - posible modelar casi cualquier instalación de lavado de una - manera practica. Como ejemplo para ilustrar la aplicación de la eficiencia de desplazamiento se supondra un caso cercano a la realidad, en el que en una instalación de "n" etapas a contracorriente son iguales entre sí por lo cual resulta que:

- 1) Las consistencias de las tortas a la salida de los filtros ( $C_{ix}$ ) son iguales.
- 2) Las consistencias en los repulpeadores  $C_{oi}$  son las mismas en todos.
- 3) Las corrientes de los líquidos de lavado (L) son idénticos en todas las etapas de lavado.

El sistema se ilustra en la figura # 1.5, en donde (R) es el líquido que sale a los evaporadores, por unidad de peso de pulpa seca; (C) representa consistencias y (a) representa concentraciones. Típicamente, es necesario calcular las concentraciones del licor a evaporación y del líquido impregnante de la torta lavada, para ello se supone esta última concentración  $A_{nx}$  y se calculan sucesivamente.

$R, A, A_{oi}, A_2, A_{ix}, \dots, A_{i+1}, A_{ix}, A_{oi}, \dots, A_{nx}$

Se varía la  $A_{nx}$  supuesta hasta que la  $A_{nx}$  encontrada y la supuesta sean iguales o difieran en menos de 1%. Se amplía un diagrama de flujo como el de la figura (1.6), en el que siempre se comienza suponiendo  $A_{nx} = 0$  y se define:

$$A_{nx} \text{ supuesta} = 0.5 (A_{nx} \text{ encontrada} - A_{nx} \text{ supuesta anterior}) + A_{nx} \text{ supuesta anterior}$$

Un balance de materiales global nos conduce a:

$$\text{Entradas: } L_n + C (1/C_o - 1)$$

$$\text{Salidas: } R + (1/C_{nx} - 1)$$

Por lo tanto:

$$L_n + (1/C_o - 1) = R + (1/C_{nx} - 1)$$

Si despejamos R:

$$R = L_n + (1/C_o - 1) - (1/C_{nx} - 1)$$

Simplificando tenemos:

$$R = L_n + (1/C_o - 1/C_{nx}) \text{ y como } L_1 = L_2 = \dots = L_n$$

$$R = L + (1/C_o - 1/C_{nx}) \text{ ----- (3)}$$

Haciendo un balance de sólidos global tenemos:

$$\text{Entradas: } L_n A_{n+1} + A_o (1/C_o - 1)$$

$$\text{Salidas: } R_{a1} + (1/C_{nx} - 1) A_{nx}$$

Por lo tanto:

$$L_n A_{n+1} + A_o (1/C_o - 1) = R A_1 + (1/C_{nx} - 1) A_{nx}$$

De aquí tenemos que:

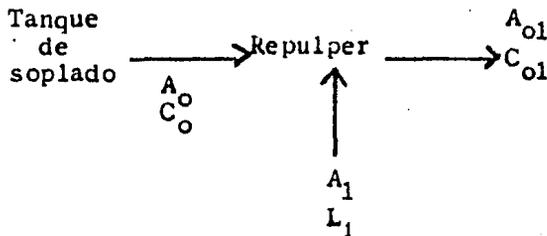
$$A_1 = \frac{L_n A_{n+1} + A_o (1/C_o - 1) - (1/C_{nx} - 1) A_{nx}}{R} \text{ -----(4)}$$

Sabemos de la ecuación (3) que  $R = L + 1/C_o - 1/C_{nx}$

Combinando (3) y (4) obtenemos:

$$A_1 = \frac{L_n A_{n+1} + A_o (1/C_o - 1) - (1/C_{nx} - 1) A_{nx}}{L + 1/C_o - 1/C_{nx}} \text{ -----(5)}$$

Si hacemos un balance entre tanque de soplado y el primer repulper tenemos:



Balance de licor:

$$\text{Entradas: } (1/C_o - 1) + L_1$$

$$\text{Salidas: } (1/C_{o1} - 1)$$

Por lo tanto:

$$(1/C_o - 1) + L_1 = (1/C_{o1} - 1) \text{ -----(6)}$$

Balance de sólidos:

$$\text{Entradas: } (1/C_o - 1) A_o + L_1 A_1$$

$$\text{Salidas: } (1/C_{o1} - 1) A_{o1}$$

Por lo tanto:

$$(1/C_o - 1) A_o + L_1 A_1 = (1/C_{oi} - 1) A_{oi} \text{ ----- (7)}$$

De la ecuación (6) se deduce que:

$$L_1 = (1/C_{oi} - 1/C_o) \text{ ----- (8)}$$

Combinando las ecuaciones (7) y (8) se obtiene:

$$(1/C_o - 1) A_o + (1/C_{oi} - 1/C_o) A_1 = (1/C_{oi} - 1) A_{oi}$$

De aquí:

$$A_{oi} = \frac{(1/C_o - 1) A_o + (1/C_{oi} - 1/C_o) A_1}{(1/C_{oi} - 1)}$$

Como las consistencias en los repulpes son iguales se puede expresar la ecuación anterior como:

$$A_{oi} = \frac{(1/C_o - 1) A_o + (1/C_{oi} - 1/C_o) A_1}{(1/C_{oi} - 1)} \text{ ----- (9)}$$

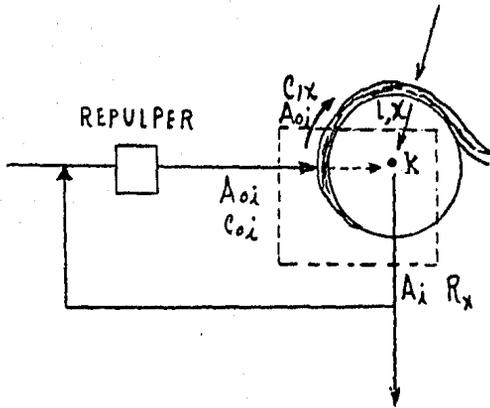
Para simplificar la ecuación anterior:

$$A_o' = (1/C_o - 1) \quad \text{y} \quad P_o = (1/C_{oi} - 1)$$

Por lo tanto:

$$A_{oi} = \frac{A_o' A_o + P_o A_1}{(1/C_{oi} - 1)} \text{ ----- (9)}$$

Para obtener la concentración  $A_{i+1}$  se hará un balance en una etapa de lavado



Balance de sólidos:

$$\text{Entradas: } (1/C_{oi} - 1) A_{oi} + L X$$

$$\text{Salidas: } (1/C_{ix} - 1) A_{oi} + R_x A_i$$

Por lo tanto:

$$(1/C_{oi} - 1) A_{oi} + L X = (1/C_{ix} - 1) A_{oi} + R_x A_i$$

De aquí:

$$L X = (1/C_{ix} - 1) A_{oi} + R_x A_i - (1/C_{oi} - 1) A_{oi} \text{ ---(10)}$$

Si se hace un balance de licor en el punto (K)

$$\text{Entradas: } L + (1/C_{oi} - 1) A_{oi}$$

$$\text{Salidas: } R_x$$

Igualando estas dos expresiones:

$$L + 1/C_{oi} - 1 = R_x \text{ ----- (11)}$$

Combinando las ecuaciones (10) y (11) se obtiene:

$$LX = (1/C_{ix} - 1)A_{oi} + (L+1/C_{oi} - 1)A_i - (1/C_{oi} - 1) A_{oi}$$

$$X = (1/C_{ix} - 1)A_{oi}/L + (L+1/C_{oi} - 1)A_i/L - (1/C_{oi} - 1)A_{oi}/L \text{ ----- (12)}$$

De acuerdo a la figura (4) los sólidos en el filtrado están dados por la siguiente ecuación.

$$\eta L A_{oi} + (1 - \eta) L A_{i+1} = L X$$

Simplificando se tiene:

$$\eta A_{oi} + (1 - \eta) A_{i+1} = X \text{ ----- (13)}$$

Combinando las ecuaciones (12) y (13).

$$\eta A_{oi} + (1 - \eta) A_{i+1} = (1/C_{ix} - 1)A_{oi}/L + (L+1/C_{oi} - 1)A_i/L - (1/C_{oi} - 1)A_{oi}/L$$

$$A_{i+1} = \frac{(1/C_{ix} - 1)A_{oi}/L + (L+1/C_{oi} - 1)A_i/L - (1/C_{oi} - 1)A_{oi}/L - \eta A_{oi}}{(1 - \eta)}$$

$$A_{i+1} = \frac{(1/C_{ix} - 1)A_{oi}/L + (L+1/C_{oi} - 1)A_i/L - (1/C_{oi} - 1)A_{oi}/L - L/L \eta A_{oi}}{(1 - \eta)}$$

$$A_{i+1} = \frac{(1/C_{ix} - 1)A_{oi} + (L+1/C_{oi} - 1)A_i - (1/C_{oi} - 1)A_{oi} - L \eta A_{oi}}{L (1 - \eta)}$$

$$A_{i+1} = \frac{(L+1/C_{oi} - 1) A_i + (1/C_{ix} - 1/C_{oi} - L \eta) A_{oi}}{L (1 - \eta)}$$

Rearreglando:

$$A_{i+1} = \frac{(L+1/C_{oi} - 1) A_i - (L \eta + 1/C_{oi} - 1/C_{ix}) A_{oi}}{L (1 - \eta)} \text{ ----- (14)}$$

Para conocer la concentración en la torta de descarga se hará referencia a la figura (4) en donde hipotéticamente se ha dividido al líquido de lavado en dos partes, una dada por la eficiencia de lavado y la otra por la ineficiencia de lavado, esto es: una fracción del líquido de lavado desplazó a una fracción igual del líquido contenido en la torta, la fracción del líquido de lavado que si desplaza esta dado por:

$\eta L$  = fracción del líquido de lavado que si desplaza una fracción del líquido con tenido en la torta.

La cantidad de sólidos que quedaron en la torta por este desplazamiento es igual a:  $\eta L ( A_{i+1} )$ .

Ahora bien los sólidos residuales causados por el licor no desplazado se pueden expresar como:

$$( 1/C_{ix} - 1 ) A_{oi} - \eta L A_{oi} = ( 1/C_{ix} - 1 - \eta L ) A_{oi}$$

Los sólidos totales en la torta despues de haber pasado por las regaderas esta dada por:

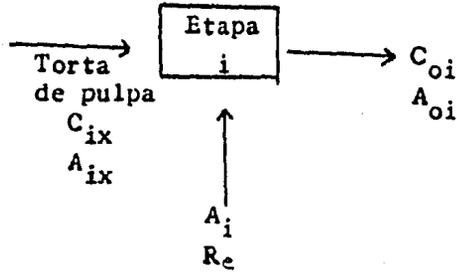
$$\text{Sólidos totales} = ( 1/C_{ix} - \eta L - 1 ) A_{oi} + \eta L A_{i+1}$$

Por lo tanto, la concentración de la torta lavada es:

$$A_{ix} = \frac{\text{Sólidos totales}}{\text{Licor impregnado}}$$

$$A_{ix} = \frac{( 1/C_{ix} - \eta L - 1 ) A_{oi} + \eta L A_{i+1}}{( 1/C_{ix} - 1 )} \text{----- (15)}$$

El siguiente paso consiste en calcular la concentración en el repulper de la etapa subsiguiente, para lo cual se analizará el diagrama siguiente:



Entradas:  $( 1/C_{ix} - 1 ) A_{ix} + A_i R_e$

Salidas:  $( 1/C_{oi} - 1 ) A_{oi}$

Igualando Entradas y Salidas:

$$( 1/C_{ix} - 1 ) A_{ix} + A_i R_e = ( 1/C_{oi} - 1 ) A_{oi} \text{ ----- (16)}$$

Balance de licor:

Entradas:  $( 1/C_{ix} - 1 ) + R_e$

Salidas:  $( 1/C_{oi} - 1 )$

Igualando Entradas y Salidas

$$( 1/C_{ix} - 1 ) + R_e = ( 1/C_{oi} - 1 )$$

De aquí:

$$R_e = ( 1/C_{oi} - 1/C_{ix} ) \text{ ----- (17)}$$

Combinando las ecuaciones (16) y (17)

$$( 1/C_{ix} - 1 ) A_{ix} + A_i ( 1/C_{oi} - 1/C_{ix} ) = ( 1/C_{oi} - 1 ) A_{oi}$$

Despejando  $A_{oi}$ :

$$A_{oi} = \frac{ ( 1/C_{ix} - 1 ) A_{ix} + A_i ( 1/C_{oi} - 1/C_{ix} ) }{ ( 1/C_{oi} - 1 ) } \text{ ----- (18)}$$

En la figura #3.7 se ilustra un programa para calculadora TI - 59, que resuelve el balance de material para una operación de lavado a contracorriente con cualquier número de etapas, suponiendo que en el mecanismo de desplazamiento la ineficiencia pasa inalterada, sin mezcla, a través de la torta.

Para este balance se emplea también el factor de dilución definido como el agua que entra al sistema por unidad de peso de celulosa, es decir como el agua que toma parte en la contracorriente y esta expresado como:

$$F = L - ( 1/C_{nx} - 1 )$$

Una vez obtenidas las relaciones matemáticas para un caso general se aplicoran para encontrar cada una de las corrientes en un sistema de lavado en tres etapas.

El agua agregada en la regadera # 3 esta dada por:

$$L_3 = F + ( 1/C_{f3} - 1 ) ( \quad ) \frac{\text{Ton H}_2\text{O}}{\text{Ton P.S.}} \quad \text{-----} \quad (20)$$

El licor a evaporadores R:

De la ecuación (3) sabemos que:

$$R = L + ( 1/C_o - 1/C_{nx} )$$

Para tres etapas de lavado:

$$R = L + ( 1/C_o - 1/C_{3x} )$$

Un dato fácil de conocer resulta ser  $L_3$  por lo tanto.

$$R = L_3 + ( 1/C_o - 1/C_{3x} ) \text{ ----- (21)}$$

Aplicando la ecuación 4 se obtiene que:

$$A_1 = \frac{L_3 A_3 + A_o ( 1/C_o - 1 ) - ( 1/C_{3x} - 1 ) A_{3x}}{R} \text{ ----- (22)}$$

Por la ecuación (17) se puede generalizar que la recirculación a los repulperos está dada por la diferencia entre la consistencia del repulpero menos la consistencia en la torta de pulpa, que llega a dicho repulpero. Así la recirculación  $R'_1$  resulta ser:

$$R'_1 = ( 1/C_{oi} - 1/C_o ) \text{ ----- (23)}$$

De acuerdo con el diagrama general el filtrado  $R_3$  es igual a:

$$R_1 = R + R'_1 \text{ ----- (24)}$$

De un balance global en la etapa 1 donde se incluye la descarga del tanque de soplado.

Balance de licor:

$$\text{Entradas:} = ( 1/C_{oi} - 1 ) + L_1$$

$$\text{Salidas:} = ( 1/C_{ix} - 1 ) + R$$

Igualando:

$$( 1/C_{oi} - 1 ) + L_1 = ( 1/C_{ix} - 1 ) + R$$

De aquí:

$$L_1 = ( 1/C_{ix} - 1/C_o ) + R$$

Combinando esta ecuación con la ecuación 12 .

$$L_1 = R_1 - R'_1 + 1/C_{ix} - 1/C_o \text{ ----- (25)}$$

De la ecuación (9) se sabe que:

$$A_{o1} = \frac{(1/C_o - 1) A_o + (1/C_{o1} - 1/C_o) A_1}{(1/C_{o1} - 1)}$$

Sustituyendo la ecuación (23) se tiene.

$$A_{o1} = \frac{(1/C_o - 1) A_o + R'_1 A_1}{(1/C_{o1} - 1)}$$

$$(1/C_{o1} - 1) = R'_1 + (1/C_o - 1) = (1/C_{o1} - 1/C_o + 1/C_o - 1)$$

Por lo tanto:

$$A_{o1} = \frac{(1/C_o - 1) A_o + R'_1 A_1}{(R'_1 + 1/C_o - 1)} \text{ ----- (26)}$$

Aplicando la ecuación (14) se puede calcular  $A_2$  que es la concentración del líquido de lavado en la etapa 1.

$$A_2 = \frac{(L_1 + 1/C_{oi} - 1) A_1 - (L_1 + 1/C_{o1} - 1/C_{ix}) A_{o1}}{L_1 (1 - \eta)} \text{ ----- (27)}$$

Con la ecuación (15) se puede calcular la concentración del licor en la torta de descarga.

$$A_{1x} = \frac{(1/C_{1x} - \eta L_1 - 1) A_{o1} + \eta L_1 A_2}{(1/C_{1x} - 1)} \text{ ----- (28)}$$

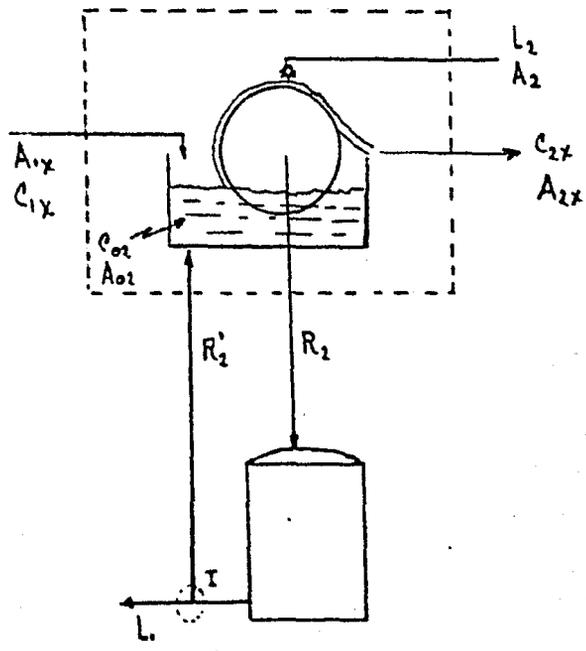
De acuerdo a la ecuación (17)

$$R'_2 = (1/C_{o2} - 1/C_{1x}) \text{ ----- (29)}$$

De un balance en el punto (I) se deduce que:

$$R_2 = L_1 + R_2' \text{ ----- (30)}$$

Haciendo un balance de licor en la etapa # 2.



$$\text{Entradas: } (1/C_{1x} - 1) + R'_2 + L_2$$

$$\text{Salidas: } (1/C_{2x} - 1) + R_2$$

Igualandlo.

$$(1/C_{1x} - 1) + R'_2 + L_2 = (1/C_{2x} - 1) + R_2$$

$$L_2 = (1/C_{2x} - 1/C_{1x}) + R_2 - R'_2$$

$$L_2 = L_1 + (1/C_{2x} - 1/C_{1x}) \text{ ----- (31)}$$

De la ecuación (9).

$$A_{o2} = \frac{(1/C_{1x} - 1) A_{1x} + (1/C_{o2} - 1/C_{1x}) A_2}{(1/C_{o2} - 1)}$$

$$A_{o2} = \frac{(1/C_{1x} - 1) A_{1x} + R'_2 A_2}{(R'_2 + (1/C_{1x} - 1))} \text{ ----- (32)}$$

De la ecuación (14).

$$A_3 = \frac{(L_2 + 1/C_{o2} - 1) A_2 - (L_2^\eta + 1/C_{o2} - 1/C_{2x}) A_{o2}}{L_2 (1 - \eta)} \text{ ----- (33)}$$

De la ecuación (15).

$$A_{2x} = \frac{(1/C_{2x} - \eta L_2 - 1) A_{o2} + \eta I_2 A_3}{(1/C_{2x} - 1)} \text{ ----- (34)}$$

De acuerdo a la ecuación (17).

$$R'_3 = (1/C_{o3} - 1/C_{2x}) \text{ ----- (35)}$$

Por semejanza a la ecuación (30).

$$R_3 = L_2 + R'_3 \text{ ----- (36)}$$

Comparando con la ecuación (31).

$$L_3 = L_2 + (1/C_{3x} - 1/C_{2x}) \text{ ----- (37)}$$

De la ecuación (9) aplicada a la etapa # 3.

$$A_{03} = \frac{(1/C_{2x} - 1) A_{2x} + R'_3 A_3}{(R'_3 + 1/C_{2x} - 1)} \text{ ----- (38)}$$

En este caso  $A_4 = 0$  pues se ha supuesto el líquido de lavado en la etapa # 3 es agua limpia.

De la ecuación (15) aplicada a la etapa # 3.

$$A_{3x} = \frac{(1/C_{3x} - \eta L_3 - 1) A_{03} + \eta L_3 A_4}{(1/C_{3x} - 1)}$$

Pero  $A_4 = 0$

$$A_{3x} = \frac{(1/C_{3x} - \eta L_3 - 1) A_{03}}{(1/C_{3x} - 1)} \text{ ----- (39)}$$

- $\eta$  = Eficiencia de desplazamiento
- F = Factor de dilución
- $C_o$  = Consistencia de la pulpa de alimentación
- $C_{ix}$  = Consistencia de la torta de pulpa de descarga etapa (i)
- $C_{oi}$  = Consistencia de la pulpa en la tina del repulper en la etapa (i)
- $A_i$  = Concentración del filtrado en la etapa i
- $A_{oi}$  = Concentración del licor en el repulper de la etapa (i)
- $A_o$  = Concentración del licor en la pulpa de alimentación
- $A_{ix}$  = Concentración del licor en la torta de pulpa descargada etapa i
- $L_3$  = Agua de lavado en la regadera de la etapa # 3
- $L_i$  = Líquido de lavado etapa (i)
- $R_i$  = Filtrado de la etapa (i)
- $R'_i$  = Recirculación del filtrado a repulper de la etapa (i)

UNIDADES

Factor de dilución ( = ) Ton H<sub>2</sub>O/Ton P.S donde P.S = pulpa seca.

Consistencia ( = ) Ton P.S/Ton. Totales.

Concentración ( = ) Ton. Sólidos/Ton. Solución

Filtrado ( = ) Ton. Licor/Ton. P.S.

BASE DE CALCULO

Para realizar el balance se tomará como base .

Ton. Pulpa seca = 1

De acuerdo con esto.

Ton. Totales = Ton. de Solución + Ton. Pulpa Seca

$$C = \text{Consistencia} = \frac{1}{\text{Ton. Totales}} = \frac{1}{(\text{Ton. Solución} + 1)}$$

De aquí ( Ton. Solución + 1 ) C = 1

$$\text{Ton. Solución} = ( 1/C - 1 )$$

Pero como la base es 1 Ton. P.S entonces.

$$\frac{\text{Ton. Solución}}{\text{Ton. P.S.}} = ( 1/C - 1 )$$

RESUMEN DE ECUACIONES. -

$$L_3 = F + (1/C_{f3} - 1) \text{-----} (20)$$

$$R \neq L_3 + (1/C_o - 1/C_{3x}) \text{-----} (21)$$

$$A_1 = (L_3 A_4 + A_o(1/C_o - 1) - (1/C_{3x} - 1)A_{3x})/R \text{-----} (22)$$

$$R'_1 = (1/C_{o1} - 1/C_o) \text{-----} (23)$$

$$R_1 = R + R'_1 \text{-----} (24)$$

$$L_1 = R_1 - R'_1 + 1/C_{1x} - 1/C_o \text{-----} (25)$$

$$A_{o1} = ((1/C_o - 1)A_o + R'_1 A_1) / (R'_1 + 1/C_o - 1) \text{-----} (26)$$

$$A_2 = ((L_1 + 1/C_{o1} - 1)A_1 - (L_1 \eta + 1/C_{o1} - 1/C_{1x})A_{o1}) / -(L_1)(1 - \eta) \text{---} (27)$$

$$A_{1x} = ((1/C_{1x} - \eta L_1 - 1)A_{o1} + \eta L_1 A_2) / (1/C_{1x} - 1) \text{-----} (28)$$

$$R'_2 = (1/C_{o2} - 1/C_{1x}) \text{-----} (29)$$

$$R_2 = L_1 + R'_2 \text{-----} (30)$$

$$L_2 = L_1 + (1/C_{2x} - 1/C_{1x}) \text{-----} (31)$$

$$A_{o2} = ((1/C_{1x} - 1)A_{1x} + R'_2 A_2) / (R'_2 + 1/C_{1x} - 1) \text{-----} (32)$$

$$A_3 = ((L_2 + 1/C_{o2} - 1)A_2 - (L_2 \eta + 1/C_{o2} - 1/C_{2x})A_{o2}) / (L_2)(1 - \eta) \text{---} (33)$$

$$A_{2x} = ((1/C_{2x} - \eta L_2 - 1)A_{o2} + \eta L_2 A_3) / (1/C_{2x} - 1) \text{-----} (34)$$

$$R'_3 = (1/C_{o3} - 1/C_{2x}) \text{-----} (35)$$

$$R_3 = L_2 + R'_3 \text{-----} (36)$$

$$L_3 = L_2 + (1/C_{3x} - 1/C_{2x}) \text{-----} (37)$$

$$A_{o3} = ((1/C_{2x} - 1)A_{2x} + R'_3 A_3) / (R'_3 + 1/C_{2x} - 1) \text{-----} (38)$$

$$A_{3x} = ((1/C_{3x} - \eta L_3 - 1)A_{o3}) / (1/C_{3x} - 1) \text{-----} (39)$$

Programa para resolver el Balance de Materiales para un sistema de lavado en tres etapas a contracorriente.

- F = Factor de dilución = sto 00
- $C_{ix}$  = Consistencia en la torta de descarga = sto 01
- $C_o$  = Consistencia en el tanque de soplado = sto 02
- $C_{oi}$  = Consistencia en el repulper = sto 03
- $A_o$  = Concentración licor tanque de soplado = sto 04
- $\eta$  = Eficiencia de desplazamiento = sto 05
- $A_{3x}^*$  = Concentración licor pulpa torta de descarga = sto 06

#### MODO DE EMPLEO

Introducir F ,  $C_{ix}$  ,  $C_o$  ,  $C_{oi}$  ,  $A_o$  y  $\eta$  .

Suponer un valor para  $A_{3x}$  y oprimir ( A ).

Visualiza en forma Intermitente cada valor de las corrientes etapa # 1. Se detiene al calcular  $A_{1x}$  .

Oprima K/S. Visualiza en forma intermitente cada valor de las corrientes etapa # 2 . Se detiene al calcular  $A_{2x}$  .

Oprima ( C ). Se detiene al calcular  $A_{3x}$  .

2nd L1b	R c1	2nd Pause	R c1	)	sto
A	08	2nd L1b	12	*	09
sto	=	B	*	R c1	GTO B
06	sto	(	R c1	13	2nd L1b
S B R	09	S B R X	05	*	(
X <sup>2</sup>	2nd Pause	*	+	R c1	(
+	(	R c1	(	R c1	S B R
R c1	S B R	04	S B R	05	X
00	S U M	+	S U M	*	*
=	-	R c1	-	R c1	R c1
sto	S B R	10	S B R	12	15
07	X	*	X <sup>2</sup>	*	+
2nd Pause	)	R c1	)	R c1	R c1
R c1	=	09	)	14	10
07	sto	)	R c1	÷	*
+	10	÷	13	(	R c1
(	2nd Pause	(	)	S B R	14
S B R	R c1	R c1	)	X <sup>2</sup>	)
X	08	10	÷	)	÷
S B R	+	S B R	(	=	(
X <sup>2</sup>	R c1	X	R c1	sto	R c1
)	10	)	12	15	10
=	sto	=	+	R/S	S B R
sto	11	sto	(	R c1	X
08	13	13	1	01	)
2nd Pause	2nd Pause	2nd Pause	R c1 05	2nd Exc	=
(	R c1	(	)	02	sto 13
R c1	11	(	=	sto 01	2nd Pause
04	+	S B R	sto	14	R c1
*	S B R	S U M	14	2nd Pause	(
S B R	X <sup>2</sup>	+	2nd Pause	R c1	(
X	-	R c1	(	04	(
S B R	S B R	12	S B R	2nd Exc	S B R
X <sup>2</sup>	X	)	X <sup>2</sup>	15	X
*	-	*	R c1	sto	-
R c1	k c1	R c1	04	04	R c1
10	10	09	R c1	09	05
=	=	-	05	*	*
06	sto	(	R c1	2nd Exc	R c1
)	12	(	12	14	12
÷					

)	R c l
*	02
k c l	1/X
13	-
)	1
÷	)
S B R	Inv S B k
X	2nd L1b
)	S U M
R/S	R c l
2nd L1b	03
X <sup>2</sup>	1/X
(	-
R c l	1
01	)
1/X	Inv S B R
-	L R N
1	
)	
Inv SBR	
2nd L1b	
X	
(	

LAVADO DE PULPA

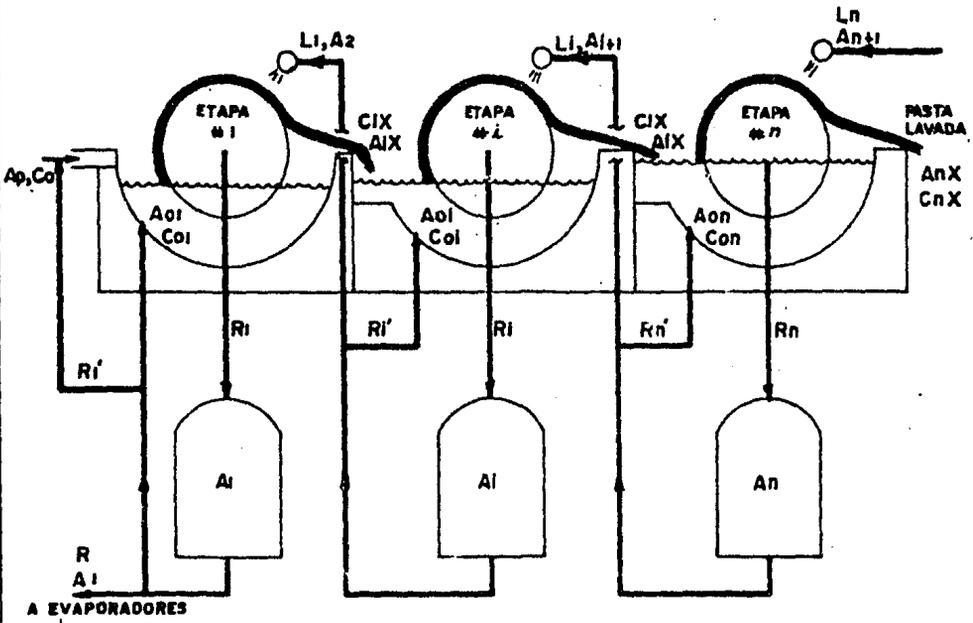


FIG. 3.5

U. N. A. M.
DIAGRAMA DE FLUJO
TESIS: ALEJANDRO VERA M.

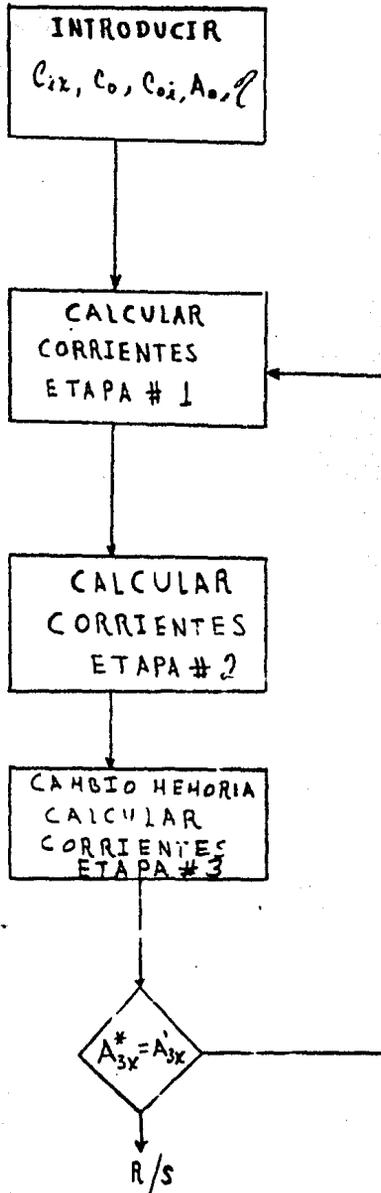


Fig. (3.6)

LAVADORES

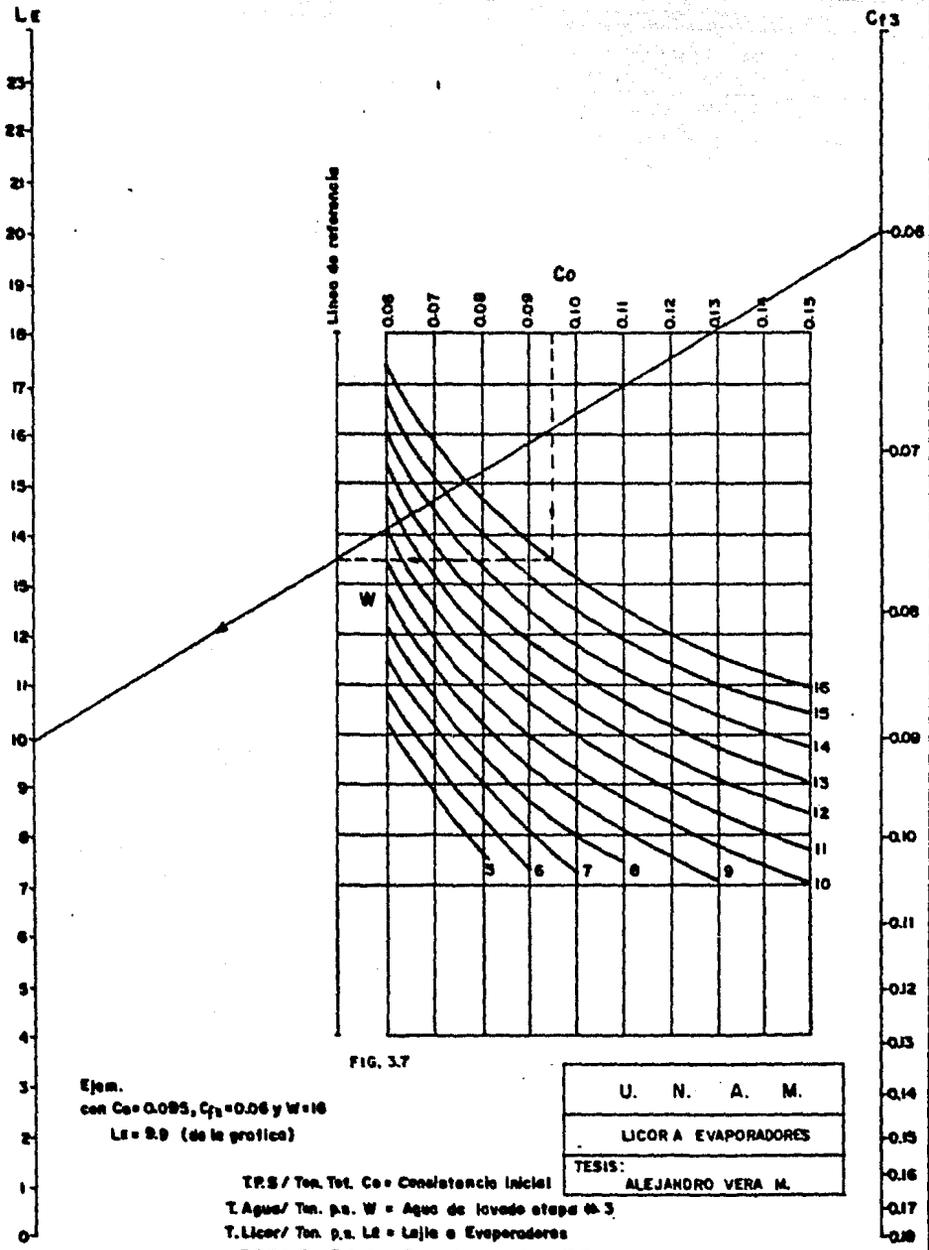
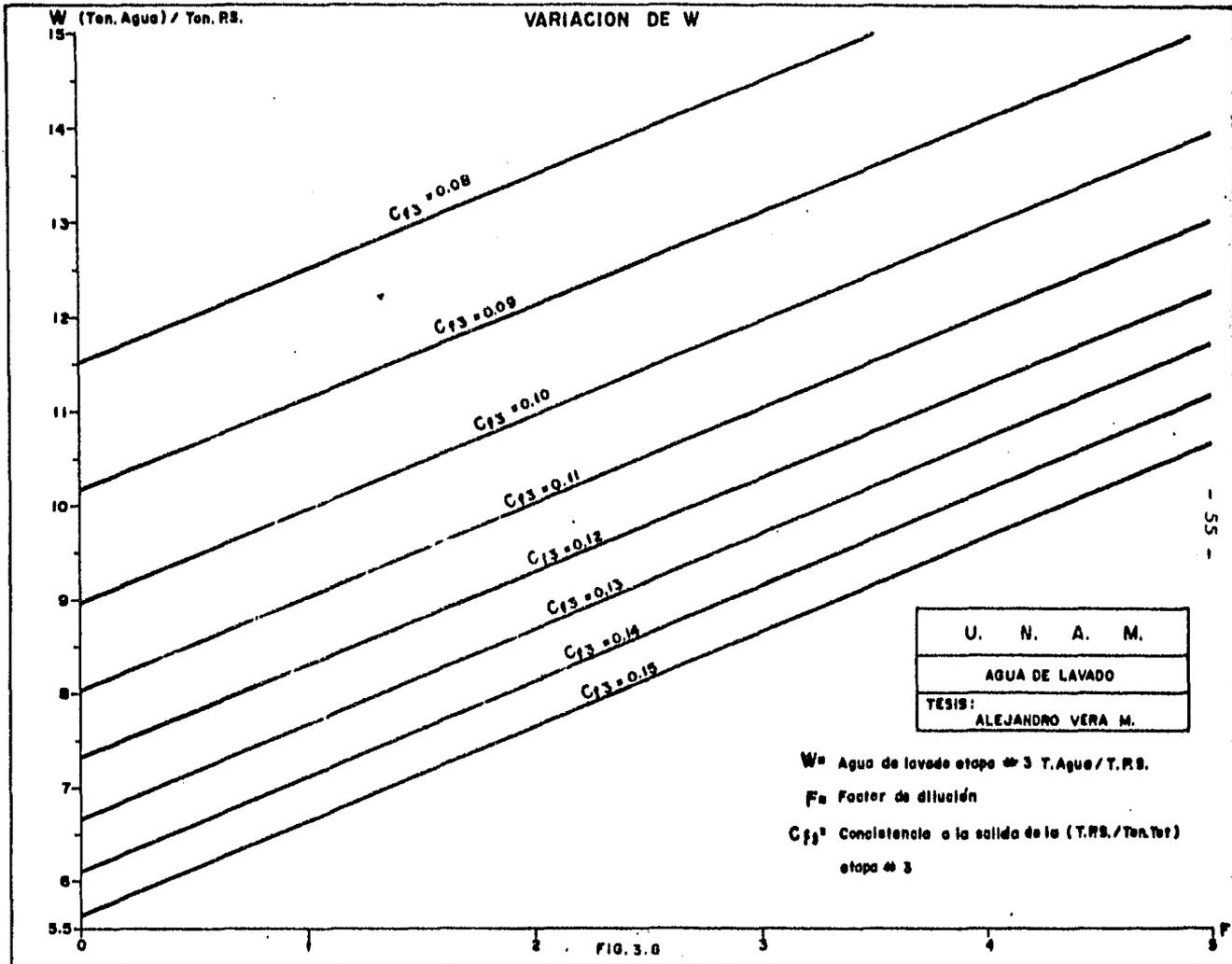


FIG. 3.7

Ej.m.  
 con  $C_o = 0.095$ ,  $C_{12} = 0.06$  y  $W = 16$   
 $L_2 = 9.9$  (de la grafica)

U. N. A. M.
LICOR A EVAPORADORES
TESIS: ALEJANDRO VERA M.

T.R.S / Ton. Tot.  $C_o$  = Consistencia inicial  
 T. Agua / Ton. p.s.  $W$  = Agua de lavado etapa # 3  
 T. Licor / Ton. p.s.  $L_2$  = Lajilla a Evaporadores  
 T.R.S / Ton. Tot.  $C_{12}$  = Consistencia etapa # 3  
 P.S. = Pulpa Seca



## C A P I T U L O I V

### ANALISIS DE LAS VARIABLES DE OPERACION

ANALISIS DE LAS VARIABLES DE OPERACION

Para poder realizar una análisis las cuales son las variables y en que medida afectan la eficiencia de un sistema de lavado, es necesario evaluar la eficiencia a partir de datos experimentales. Del balance de materiales se obtuvo una expresión que relaciona entre otros parámetros la concentración del licor en la torta de descarga ( $A_{ix}$ ) con la eficiencia del lavado, la cual se ha definido como eficiencia de desplazamiento. Esta expresión es la ecuación (3.15) que tiene la forma:

$$A_{ix} = \frac{(1/C_{ix} - 1 - \eta L) A_{oi} + \eta L A_{i+1}}{(1/C_{ix} - 1)}$$

Despejando la  $\eta$ :

$$A_{ix}(1/C_{ix}-1) = \eta L (A_{i+1}-A_{oi}) + (1/C_{ix}-1) A_{oi}$$

Por lo tanto:

$$\eta = \frac{(1/C_{ix}-1) (A_{ix} - A_{oi})}{L (A_{i+1}-A_{oi})}$$

Rearreglando la ecuación:

$$\eta = \frac{(1/C_{ix}-1) (1 - A_{ix}/A_{oi})}{L (1 - A_{i+1}/A_{oi})} \text{----- (4.1)}$$

Esta expresión aplicada a la etapa # 3 resulta ser:

$$\eta = \frac{(1/C_{3x}-1) (1 - A_{3x}/A_{o3})}{L_3 (1 - A_4/A_{o3})} \text{----- (4.2)}$$

La concentración ( $A_4$ ) para este caso resulta tener un valor de cero pues ésta representa la concentración de sólidos en el líquido de lavado en la tercer etapa, el cual normalmente resulta ser agua limpia, es decir libre de sólidos en solución. Por tanto, la expresión para la eficiencia queda como:

$$\eta = 1L_3 (1/C_{3x} - 1) (1 - A_{3x}/A_{03}) \text{ ----- (4.3)}$$

Como puede observarse esta ecuación quedó en función de cantidades fácilmente medibles por lo que resulta útil en la evaluación de la eficiencia de lavado.

#### DETERMINACION DE LA EFICIENCIA UTILIZANDO DATOS EXPERIMENTALES.

Para fines de experimentación la evaluación se hará - sobre la etapa # 3 en donde resulta sencillo hacer el muestreo de las cantidades que aparecen en la ecuación (4.1).

El siguiente procedimiento persigue obtener la influencia que tiene sobre la eficiencia de desplazamiento variables como:

- 1) Agua de lavado
- 2) Consistencia en el repulper
- 3) Consistencia en la torta de descarga
- 4) Velocidad del repulper

#### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- 1) Agua de lavado.

El flujo del agua de lavado se determina mediante una - placa de orificio y transmitiendo la señal hasta un registrador instalado en el tablero de control. Una vez obtenida la lectura del registrador el flujo de agua se obtiene mediante la siguiente formula.

$$\text{Flujo de Agua} = \text{Lect} * 10 * 1440 ( = ) \text{ M}^3/\text{min} = \text{Ton}/\text{min}$$

Sin embargo, en el balance de materiales se utilizó  $L_3$  para indicar el Flujo de Agua por tonelada de pulpa.

## 2) Consistencia en el Repulper.

Dado que la pulpa que se encuentra en el repulper es una suspensión, se tomara una muestra de esta suspensión en un frasco de 0.5 litros, una vez tomada la muestra se coloca en una centrífuga durante cinco minutos con el fin de eliminar en lo mas posible el líquido en exceso.

Posteriormente se retira la pasta de la centrífuga y se pesa. El peso obtenido de la pasta se multiplica por un factor que da como resultado el valor de la consistencia.

La expresión para determinar la consistencia es:

$$C_{03} = P * 0.061 \quad ( = ) \quad \frac{\text{Ton P.S.}}{\text{Ton Totales}}$$

Donde P = peso de la pulpa centrífugada en gramos.

## 3) Consistencia en la torta de descarga

La pulpa de descarga es una pasta con un contenido de líquido bajo motivo por el cual no es posible utilizar el método de la centrífuga como tal, sino que habra una ligera modificación. Para esta determinación se tomará una muestra de la torta con mucho cuidado de no eliminar el líquido contenido en ella y se llevará a la centrífuga durante cinco minutos, una vez centrífugada la muestra se pesa, el valor obtenido se multiplica por un factor para obtener la cantidad real de pulpa seca.

$$P_{cent} * 0.30 = Pp.s.$$

$P_{cent}$  = peso de la muestra centrífugada

$Pp.s.$  = peso pulpa seca

Para calcular la consistencia se relacione el peso de pulpa seca con el peso total de la muestra. Por lo tanto, la consistencia esta dada por:

$$\text{Consistencia torta} = \frac{P_{cet} * 0.30}{\text{Peso total}} \quad ( = ) \quad \frac{\text{Ton P.S.}}{\text{Ton Tot.}}$$

5) Velocidad en el cilindro.

En la determinación de velocidad se procederá a colocar una marca en el cilindro para así poder evaluar el número de revoluciones por minuto a las cuales gira el cilindro.

$$W = \frac{\text{Núm. Rev.}}{\text{min.}}$$

La ecuación de eficiencia dada por el balance de materia involucra la concentración del licor existente en el repulper y la concentración del licor en la torta de descarga por lo que será necesario tener un método rápido y fácil que nos de estas cantidades.

## Método Colorimétrico para Determinar Concentraciones.

### FOTOMETRIA DE ABSORCION

Desde que el color ha sido reconocido como una característica de ciertos materiales bajo algunas condiciones dadas, se le ha utilizado como un medio de identificación.

La perfección de los detectores de radiación, junto con el adelanto general en la instrumentación ha producido una gran extensión de las técnicas en este campo.

Puesto que estas técnicas se ocupan de la medición de la intensidad o poder de radiación, como función de la longitud de onda, puede usarse el término fotométrico o espectro - fotométrico para identificarlas.

En algunos casos, su sensibilidad es tan grande que pueden detectarse concentraciones tan pequeñas como 0.01 a 0.001 partes por millón.

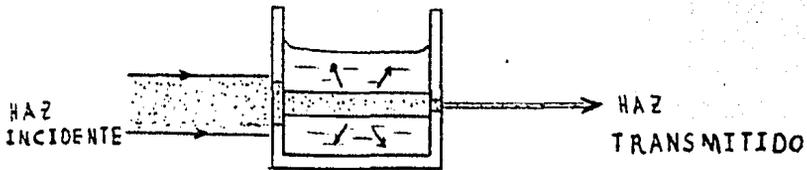
Las técnicas fotométricas están basadas en la capacidad que tienen las sustancias de interactuar con frecuencias de radiación características. Puesto que cada especie aislada de ion, átomo o molécula exhibirá un conjunto de niveles de energía definidos, absorberá sólo las frecuencias EM que corresponden a la excitación de un nivel a otro.

Siempre que un haz de radiación sumamente policromático pasa a través de un medio, ya sea líquido o gaseoso, se registra cierta pérdida de intensidad.

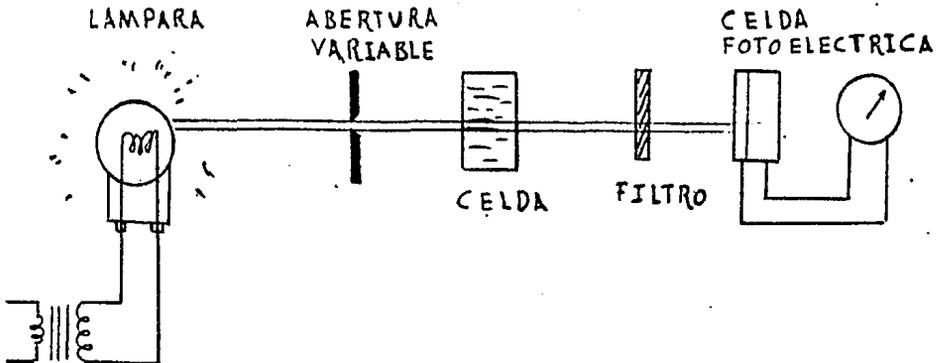
Primeramente se produce una reflexión en las fronteras de fase como resultado de las diferencias en los índices de refracción entre el medio y sus contornos. Segundo, la dispersión motivada por las deshomogeneidades (en las mezclas) o por fluctuaciones térmicas en el volumen del medio, produce una pequeña pérdida adicional en la potencia del haz principal.

Sin embargo, ninguna de éstas es significativa en la explicación de la disminución de la intensidad como el hecho de que el medio en sí mismo no sea perfectamente transparente, sino que absorberá las frecuencias radiantes que producen los cambios de energía dentro de sus moléculas y iones.

En la siguiente figura se ofrece una representación -  
esquemática del efecto de reflexión y dispersión.



Un diagrama esquemático de un simple fotómetro foto-  
eléctrico de filtro, para análisis en la región visible se  
muestra en la siguiente figura.



Las etapas de un fotómetro de absorción son, esencialmente  
las necesarias en cualquier instrumento; parecen haber dos o  
tres partes adicionales y éstas merecen algunos comentarios.

Una de ellas, el recipiente de muestras, no desempeña -  
ningun papel en el proceso de medición pero es necesario para  
"contener" o sujetar en posición la mayoría de tipos de mues-  
tra. Sin embargo los otros dos, el control de intensidad y  
el dispositivo para aislar la frecuencia, son de mayor interés  
ya que son partes esenciales del instrumento. Puesto que las

fuentes actuales producen un espectro continuo con una intensidad que es función de la longitud de onda, estos dos componentes son necesarios para proporcionar una fuente artificial de radiación tan monocromática como se desee y que tenga una intensidad uniforme sobre el espectro.

De acuerdo con lo antes mencionado se tratara de encontrar una relación entre la densidad óptica y la concentración del licor.

Para esto se tomaran muestras de licor y se haran varias diluciones con el objeto de obtener diferentes concentraciones, cada una de las cuales seran probados con distintos filtros - en el colorímetro.

1) Determinación de la curva patrón.

1.1) Tome una muestra de licor en el repulper de la - tercera etapa.

1.1) Haga las siguientes diluciones:

1	a	100
2	a	100
2.5	a	50
5	a	100

1.2) Ajuste el cero en el colorímetro, utilizando agua - destilada.

1.3) Determine el valor de la densidad óptica con diferentes filtros.

47, 49, 52, 58, 61 y 70

1.4) Para conocer la concentración del licor se utilizara el método de evaporación que consiste en:

1.41) Pese un crisol el cual debe estar lo mas seco posible a fin de evitar errores, y se pesa.

1.42) Una vez que halla hecho la determinación colorimétrica, se colocan 20 ml. de licor en el crisol y se vuelva a pesar.

1.43) Se coloca la muestra en una estufa y se lleva a - sequedad. Se determina el peso y se calcula la concentración con la siguiente relación.

$$\text{Concentración del licor} = \frac{P_s - P_c}{P_{cL} - P_c} = C_L$$

Donde:

$P_c$  = Peso del crisol seco

$P_{cL}$  = Peso del crisol mas 20 ml de licor de muestra

$P_s$  = Peso del crisol mas sólidos residuales

RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA LA RELACION DE CONCENTRACION  
Y DENSIDAD OPTICA

CORRIDA # 1

$$C_L = 0.18254 \text{ g/ml.}$$

Dilución 1 a 100. Concentración resultante = 0.0018254 -  
g/ml.

Filtro	$\rho_{op}$
47	0.52
49	0.56
52	0.65
58	0.34
61	0.34
70	0.24

Dilución 2 a 50 Concentración Resultante = 0.0073 g/ml.

Filtro	Pop
47	0.80
49	1.1
52	1.4
58	0.93
61	1.1
70	0.76

Dilución 5 : 100 Concentración Resultante = 0.00197 g/ml.

Filtro	Pop
47	0.90
49	1.25
52	1.40
58	1.10
61	1.30
70	0.97

Dilución 2 a 100. Concentración Resultante = 0.00365

Filtro	Pop
47	0.66
49	0.85
52	1.05
58	0.62
61	0.64
70	0.46

Concentración = 0.048

Dilución 5 a 50. Concentración resultante = 0.0048

Filtro	Pop
47	0.62
49	0.85
52	1.10
58	0.64
61	0.70
70	0.49

Al graficar la densidad óptica vs la concentración da como resultado los siguientes expresiones:

Filtro 70

Pop	C g./ml
0.97	0.009127
0.24	0.0018254
0.46	0.0036508
0.76	0.0073016
0.49	0.0048

$$f_{op} = 97.2571 C + 0.0646$$
$$r^2 = 0.994$$

Filtro 47

$f_{op}$	C g/ml.
0.90	0.009127
0.52	0.0018254
0.66	0.0036508
0.80	0.0073016
0.62	0.0048

$$f_{op} = 50.3747 C + 0.43095$$
$$r^2 = 0.9724$$

Filtro 49

$f_{op}$	C g/ml.
1.25	0.009127
0.56	0.0018254
0.85	0.0036508
1.1	0.0073016
0.85	0.0048

$$f_{op} = 89.77 C + 0.4425$$
$$r^2 = 0.9835$$

Filtro 52

$f_{op}$	C g/ml.
1.4	0.009127
0.65	0.0018254
1.05	0.0036508
1.4	0.0073016
1.1	0.0048

$$f_{op} = 100.65 C + 0.43095$$
$$r^2 = 0.9439$$

Filtro 61

$P_{op}$	C g/ml.
1.3	0.009127
0.34	0.0018254
0.64	0.0036508
1.1	0.0073016
0.70	0.0048

$$op = 131.3 C + 0.1147$$

$$r^2 = 0.995$$

Filtro 58

$P_{op}$	C g/ml.
1.1	0.009127
0.34	0.0018254
0.62	0.0036508
0.93	0.0073016
0.64	0.0048

$$op = 100.88 C + 0.1871$$

$$r^2 = 0.9910$$

Experiencia No. 1  
 Fecha: 4 - Junio - 83

Número de Pruebas	Hora	f <sub>op</sub> rep.	Pcent. rep	f <sub>op</sub> - Torta Salida	Peso de muestra cada 7 J		Lectura Flujo A- gua	Velocidad K P S
					P. Mues- tra.	P. Humedo		
1	8.00	0.9	12.96 g	0.32	150.7 g	44.9 g	72	0.05
2	9.00	0.86	9.51 g	0.155	184.8 g	52.4 g	72	0.05
3	16.00	0.75	8.6 g	0.19	63.4 g	22.9 g	62	0.05
4	16:30	0.72	7.51 g	0.135	89.9 g	34 g	62	0.05
5	17:00	0.60	7.99 g	0.23	97.5 g	34.4 g	64	0.05
6	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-

Flujo pulpa alimentación 65 T/D

Experiencia No 2  
 Fecha: 18 - Junio - 83

Número de Pruebas	Hora	Pop. rep.	Cent. rep.	Pop. - Torta - Salida.	Peso Muestra - etapa # 3.		Lectura legis-trador.	Velocidad k/S
					P. Mues- tra.	P. Humedo.		
1	8:00	0.52	12.7 g	0.11	69.35g	28.7	64	0.047
2	9:30	0.61	9.57 g	0.18	136.46 g	50 g	64	0.047
3	9:00	0.51	12 g	0.175	125 g	46.9 g	64	0.047
4	9:30	0.44	7.04 g	0.065	108.2 g	33.01 g	64	0.047
5	17:00	0.37	6.49 g	0.075	100.3 g	25.6 g	52	0.048
6	17:30	0.42	6.55 g	0.05	80.6 g	23 g	53	0.048
7	18:00	0.36	5.7 g	0.05	96.8 g	24.9 g	52.5	0.048
8	18:30	0.31	13 g	0.13	109.2 g	35.2 g	52	0.048
9	19:00	0.39	5.1 g	0.105	95.3 g	24.5 g	52	0.048

Flujo pulpa alimentación = 65 T/D

Experiencia No 3  
 Fecha: 25 - Junio - 83

Número de Pruebas.	Hora	Σop Rep.	Cent. Rep.	Σop. - Forta - Salida.	Peso de Muestra - Etapa # 3.		Lectura Registrador.	Velocidad.RPS
					P. Muestra.	P. Humedo.		
1	9:30	1.05	13.9 g	0.38	135 g	53.7 g	54	0.05
2	10:00	0.9	11.2 g	0.32	84.9 g	31.7 g	54	0.05
3	10:30	0.95	6.92 g	0.20	82.6 g	25.1 g	54	0.043
4	11:00	0.90	7.6 g	0.16	95.1 g	24.5 g	54	0.043
5	11:30	0.94	9.5 g	0.15	65.6 g	20.6 g	54	0.041
6	12:00	0.79	7 g	0.13	54.6 g	16.9 g	54	0.043
7	12:30	0.85	10.1 g	0.17	53.4 g	17 g	54	0.043
8	13:00	0.85	11.3 g	0.23	73 g	24.3 g	54	0.043
9	-	-	-	-	-	-	-	-

Flujo pulpa alimentación = 0.5 l/D

Experiencia No 4  
 Fecha: 2 - Julio - 83

Número de Pruebas	Hora	∫op Rep.	Pcent. Rep.	∫op. - Torta - salida	Peso Muestra - cada 7 3.		Lectura Flujo - Agua	Velocidad RPS
					P. Muestra,	P. Humedo		
1	9:30	0.49	8.44 g	0.22	106.7 g	34.2 g	65	0.045
2	10:00	0.52	8.45 g	0.155	66.7 g	22.3 g	65	0.045
3	10:30	0.50	10.35 g	0.15	96.5 g	30.6 g	65	0.045
4	11:00	0.51	5.3 g	0.08	97 g	26.4 g	65	0.05
5	11:30	0.48	5.2 g	0.065	95.2 g	26.4 g	65	0.047
6	12:00	0.35	7.15 g	0.055	70.8 g	23.4 g	65	0.0465
7	12:30	0.36	8.09	0.13	88.4 g	27 g	64	0.0465
8	13:00	0.37	11.4 g	0.03	85.9 g	29.5 g	64	0.0465
9	-	-	-	-	-	-	-	-

Flujo pulpa alimentación = 65 T/D

Experiencia No 1

Fecha: 4 - Junio - 83

Número de Pruebas	$f_{op}$ ( $\Lambda_{03}$ )	$C_{03}$	$f_{op}$ ( $\Lambda_{3x}$ )	$C_{3x}$	Flujo - 1120 - M <sup>3</sup> /min	Entrada Pulpa	L(M <sup>3</sup> /Tps)	W(R.P.S)	$\eta$ %
1	0.90	0.791	0.32	0.090	0.720	65 T/D	15.951	0.05	40.85
2	0.86	0.580	0.15	0.085	0.620	65 T/D	15.951	0.05	55.323
3	0.75	0.525	0.19	0.108	0.620	65 T/D	13.735	0.05	44.889
4	0.72	0.458	0.14	0.113	0.620	65 T/D	13.735	0.05	46.434
5	0.60	0.487	0.23	0.106	0.620	65 T/D	13.735	0.05	37.866
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Experiencia No 2

Fecha: 18 - Junio - 83

Número de Pruebas	$\rho_{03}$	$C_{03} \times 100$	$\rho_{A3x}$	$C_{3x}$	Flujo H2O - $M^3/min$	Entrada Pulpa	$L(M^3/T - ps)$	W(R. P. S)	$\varphi \%$
1	0.52	0.775	0.11	0.124	0.640	65 T/D	14.178	0.047	39.287
2	0.61	0.584	0.18	0.110	0.640	65 T/D	14.178	0.047	40.227
3	0.51	0.732	0.175	0.113	0.640	65 T/D	14.178	0.047	36.367
4	0.43	0.429	0.065	0.092	0.640	65 T/D	14.178	0.047	59.089
5	0.37	0.396	0.075	0.077	0.520	65 T/D	11.520	0.048	67.409
6	0.42	0.400	0.05	0.086	0.530	65 T/D	11.742	0.048	66.037
7	0.36	0.352	0.05	0.077	0.525	65 T/D	11.631	0.048	72.804
8	0.31	0.792	0.13	0.097	0.520	65 T/D	11.520	0.048	38.125
9	0.39	0.311	0.105	0.077	0.520	65 T/D	11.520	0.048	61.784

Experiencia No 3

Fecha: 25 - Junio - 83

Número de Pruebas	$\rho_{03}^{op}$	$C_{03} \times 100$	$\rho_{3x}^{op}$	$C_{3x}$	Flujo 1120 - $M^3/min$	Entrada Pulpa	L. ( $M^3/T$ - P.S.)	W(R.P.S.)	%
1	1.05	0.85	0.38	0.12	0.54	65 T/D	11.963	0.05	39.12
2	0.9	0.68	0.32	0.11	0.54	65 T/D	11.963	0.05	43.59
3	0.95	0.42	0.20	0.09	0.54	65 T/D	11.963	0.043	66.73
4	0.90	0.46	0.16	0.08	0.54	65 T/D	11.963	0.043	79.04
5	0.94	0.58	0.15	0.09	0.54	65 T/D	11.963	0.041	71.03
6	0.79	0.43	0.13	0.09	0.54	65 T/D	11.963	0.043	70.61
7	0.85	0.618	0.17	0.10	0.54	65 T/D	11.963	0.043	60.19
8	0.85	0.69	0.23	0.10	0.54	65 T/D	11.963	0.043	54.88
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Experiencia No 4

Fecha: 2 - Julio - 83

Número de Pruebas	$\rho_{O_3}^{op}$ (A <sub>O3</sub> )	$C_{O_3}^{100}$	$(A_{3x}^{op})$	$C_{3x}$	Flujo H <sub>2</sub> O - M <sup>3</sup> /min	Entrada Pulpa	L (M <sup>3</sup> /T - P.S.)	W(RP.S)	$\eta\%$
1	0.49	0.51	0.220	0.096	0.65	65 T/D	14.40	0.045	36.03
2	0.52	0.51	0.150	0.10	0.65	65 T/D	14.40	0.045	43.87
3	0.50	0.63	0.150	0.095	0.65	65 T/D	14.40	0.045	46.30
4	0.51	0.32	0.080	0.081	0.65	65 T/D	14.40	0.045	66.43
5	0.48	0.38	0.065	0.083	0.65	65 T/D	14.40	0.05	66.33
6	0.35	0.43	0.055	0.099	0.65	65 T/D	14.40	0.047	53.27
7	0.36	0.493	0.130	0.091	0.64	65 T/D	14.40	0.0465	45.012
8	0.365	0.60	0.030	0.103	0.64	65 T/D	14.40	0.0465	56.376
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Para conocer la relación que tienen las variables ya antes mencionadas se supondrá una relación lineal múltiple con la siguiente forma.

$$X_0 = A X_1 + B X_2 + C X_3 + \dots + N X_n + M$$

Para lo cual se utilizará el siguiente procedimiento.

1.- Calcular coeficientes de regresión  $C_{ij}$

$$C_{ij} = \frac{\sum X_i X_j - 1/n \sum X_i \sum X_j}{\frac{(\sum X_i^2 - 1/n (\sum X_i)^2) (\sum X_j^2 - 1/n (\sum X_j)^2)}{}}$$

$$i = 0$$

$$j = 1 \text{ - - - - - } n$$

y elegir aquellas variables que presenten el valor más alto de  $C_{ij}$ .

Una vez elegidas las variables que afectan el valor de eficiencia se procede a plantear el sistema de ecuaciones para encontrar los valores de A, B, C - - - - - N.

CALCULO DE COEFICIENTES DE REGRESION . -

Las variables consideradas para este análisis son:  $C_{3x}$ , Agua en las Regaderas y W (R PS) a las cuales para fines de cálculo llamaremos  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  y  $X_4$  respectivamente.

Para ser consistentes con esta nomenclatura se denotará a  $\eta$  como  $X_0$ .

1.- ( $C_{01}$ ) Coeficiente de regresión, entre la eficiencia y la consistencia en las tinajas.

$$\sum X_0 X_1 - 1/n \sum X_0 \sum X_1 = 836 - 1/30 (1605.3) (16.31) = 36.92$$

$$\sum X_0^2 - 1/n (\sum X_0)^2 = 90804 - 1/30 (25 76007.7) = 4904$$

$$\sum X_1^2 - 1/n (\sum X_1)^2 = 9.54 - 1/30 (266.1) = 0.67$$

$$\underline{C_{01} = 0.644}$$

2.- ( $C_{02}$ ) Coeficiente de regresión entre la eficiencia y la consistencia en la torta de descarga.

$$\sum X_0 X_2 - 1/n \sum X_0 \sum X_2 = 150.6 - 1/30 (1605.3) (2.88) = 3.62$$

$$\sum X_0^2 - 1/n (\sum X_0)^2 = 4904$$

$$\sum X_2^2 - 1/n (\sum X_2)^2 = 0.2818 - 1/30 (8.31) = 0.0048$$

$$\underline{C_{02} = 0.746}$$

3.- ( $C_{03}$ ) Coeficiente de regresión entre la eficiencia y el agua de lavado.

$$\sum X_0 X_3 - 1/n \sum X_0 \sum X_3 = 951.4 - 1/30 (1605.3) (17.975) = 10.45$$

$$\sum X_0^2 - 1/n (\sum X_0)^2 = 4904.2$$

$$\sum X_3^2 - 1/n (\sum X_3)^2 = 10.88 - 1/30 (323.1) = 0.1131$$

$$C_{03} = 0.444$$

4.- ( $C_{04}$ ) Coeficiente de regresión entre la eficiencia y la velocidad del cilindro

$$\sum X_0 X_4 - 1/n (\sum X_0) (\sum X_4) = 74.8 - 1/30 (1605.3) (1.40) = 0.411$$

$$\sum X_0^2 - 1/n (\sum X_0)^2 = 4904$$

$$\sum X_4^2 - 1/n (\sum X_4)^2 = 0.066 - 1/30 (1.97) = 0.000205$$

$$C_{04} = 0.41$$

De acuerdo con los resultados obtenidos en las coeficientes de regresión, las únicas variables que intervienen en la evaluación de la eficiencia son la consistencia en la torta de descarga y la concentración de la suspensión en el repulper sin embargo, la eficiencia indirectamente ha quedado también en función del agua de lavado, pues a partir de la gráfica 1.1 podemos relacionar la consistencia de la torta de descarga con el agua de lavado.

En lo que se refiere a la velocidad del cilindro, que definitivamente tiene una gran influencia en el lavado se obtuvo que no interviene en la ecuación de eficiencia, esto es lógico pues debido a que la alimentación de pulpa fue prácticamente constante la velocidad del cilindro no varió - en forma considerable de esta manera se hace necesario tener valor determinado en la velocidad del cilindro que cubra un rango de alimentación de pulpa, para así sólo mover la consistencia tanto de entrada como de descarga, que afinal de cuentas viene siendo la manipulación del agua de lavado.

Una vez conociendo las variables que bajo las condiciones experimentales establecidas afectan la eficiencia de lavado se tratará de encontrar una ecuación que simule los efectos de éstas. La ecuación propuesta es la siguiente:

$$A X_1 + B X_2 + M = X_0 \text{ ----- (4.4)}$$

Para evaluar las constantes A y B se plante a continuación un sistema de ecuaciones:

$$A f_{11} + B f_{12} = f_{01}$$

$$A f_{21} + B f_{22} = f_{02}$$

Donde  $f_{ij}$  esta dada por:

$$f_{ij} = \sum X_i X_j - 1/n \sum X_i \sum X_j$$

$$f_{11} = \sum X_1^2 - 1/n (\sum X_1)^2 = 9.541 - 1/30 (266.124)^2 = 0.670$$

$$f_{12} = \bar{x}_1 \bar{x}_2 - 1/30 \bar{x}_1 \bar{x}_2 = 1.60 - 1/30 (16.31) (2.88) \\ = 0.038$$

$$f_{22} = \bar{x}_2^2 - 1/n (\bar{x}_2)^2 = 0.282 - 1/30 (8.31) = 0.005$$

$$f_{12} = f_{21} = 0.038$$

$$f_{01} = - 36.92$$

$$f_{02} = - 3.628$$

Sustituyendo los valores de  $f_{ij}$  :

$$0.670A + 0.038 B = - 36.926$$

$$0.038 A + 0.005 B = - 3.628$$

Resolviendo el sistema:

$$A = - 24.55$$

$$B = - 539$$

El valor de (M) se encontrar por medio de la siguiente ecuación.

$$M = \bar{x}_0 - B \bar{x}_2 - A \bar{x}_1$$

Por lo tanto:

$$M = 53.510 + 51.801 + 13.349 = 118.660$$

Sustituyendo los valores de A , B y M en la ecuación - (4.4) la expresión para la eficiencia es:

$$\eta = 24.55 C_{O_3} - 539 C_{3x} + 118.660 \text{ ----- (4.5)}$$

La gráfica (4.7) muestra que la relación entre la eficiencia experimental y la calculada es lineal, por lo que se puede asumir que la ecuación (4.5) es la que mejor predice la variación de la eficiencia en función de la consistencia en la torta y la consistencia en el repulper.

COMPROBACION DE LA ECUACION

$$\eta = - 24.549 C_{O_3} - 539.028 C_{3x} + 118.66$$

$C_{O_3}^{100}$	$C_{f3}$	$\eta_{exp}$	$\eta_{calc}$	$C_{O_3}^{100}$	$C_{f3}$	$\eta_{exp}$	$\eta_{calc}$
0.85	0.12	39.12	33.110	0.791	0.090	40.85	43.722
0.68	0.11	43.59	42.674	0.580	0.085	55.323	58.604
0.42	0.09	66.73	59.837	0.525	0.108	44.889	47.557
0.46	0.08	79.04	64.245 *	0.458	0.113	46.434	46.506
0.58	0.09	71.03	55.909 *	0.487	0.106	37.866	49.568 *
0.43	0.09	70.61	59.591	0.775	0.124	39.287	32.795
0.618	0.10	60.19	49.586	0.584	0.11	40.227	45.030
0.69	0.10	54.88	47.818	0.732	0.113	36.367	39.780
0.51	0.096	36.03	54.393 *	0.429	0.092	59.089	58.53 8
0.515	0.10	43.87	52.114	0.396	0.077	67.409	67.433
0.631	0.095	46.30	51.962	0.400	0.086	66.037	62.484
0.3233	0.081	66.43	67.069	0.352	0.077	72.804	68.514
0.38	0.083	66.334	64.592	0.793	0.097	38.125	46.907
0.43	0.099	53.27	54.740	0.311	0.077	61.784	69.52
0.493	0.091	45.012	57.506 *				
0.69	0.103	56.376	46.201				

m = 0.599  
b = 21.221  
r<sup>2</sup> = 0.78

m = 0.78  
b = 10.71    eliminando (\*)  
r<sup>2</sup> = 0.87

FILTRO # 70

Septica

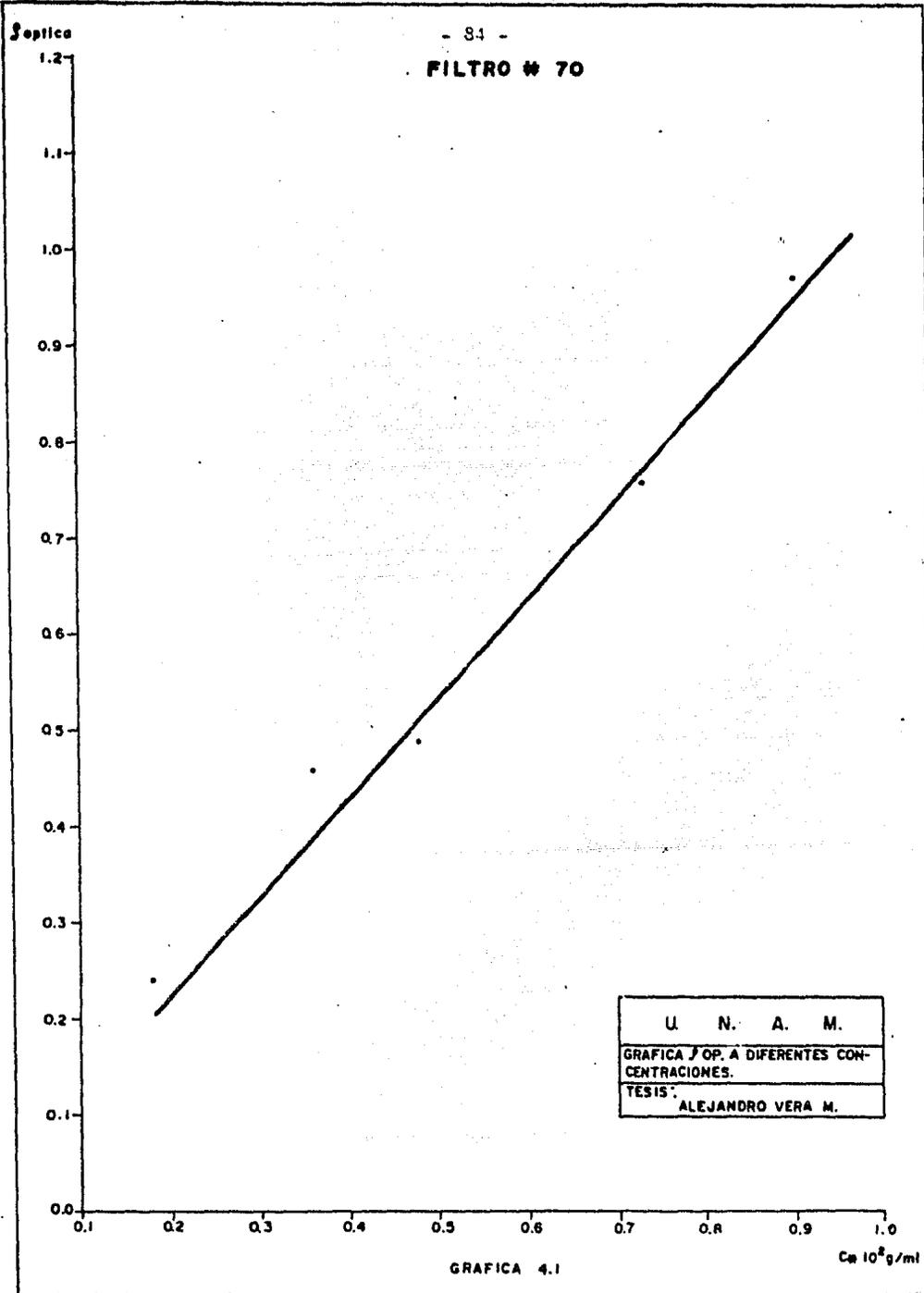
1.2  
1.1  
1.0  
0.9  
0.8  
0.7  
0.6  
0.5  
0.4  
0.3  
0.2  
0.1  
0.0

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0

$C_m 10^2 g/ml$

U. N. A. M.
GRAFICA # OP. A DIFERENTES CONCENTRACIONES.
TESIS: ALEJANDRO VERA M.

GRAFICA 4.1



FILTRO # 47

Septico

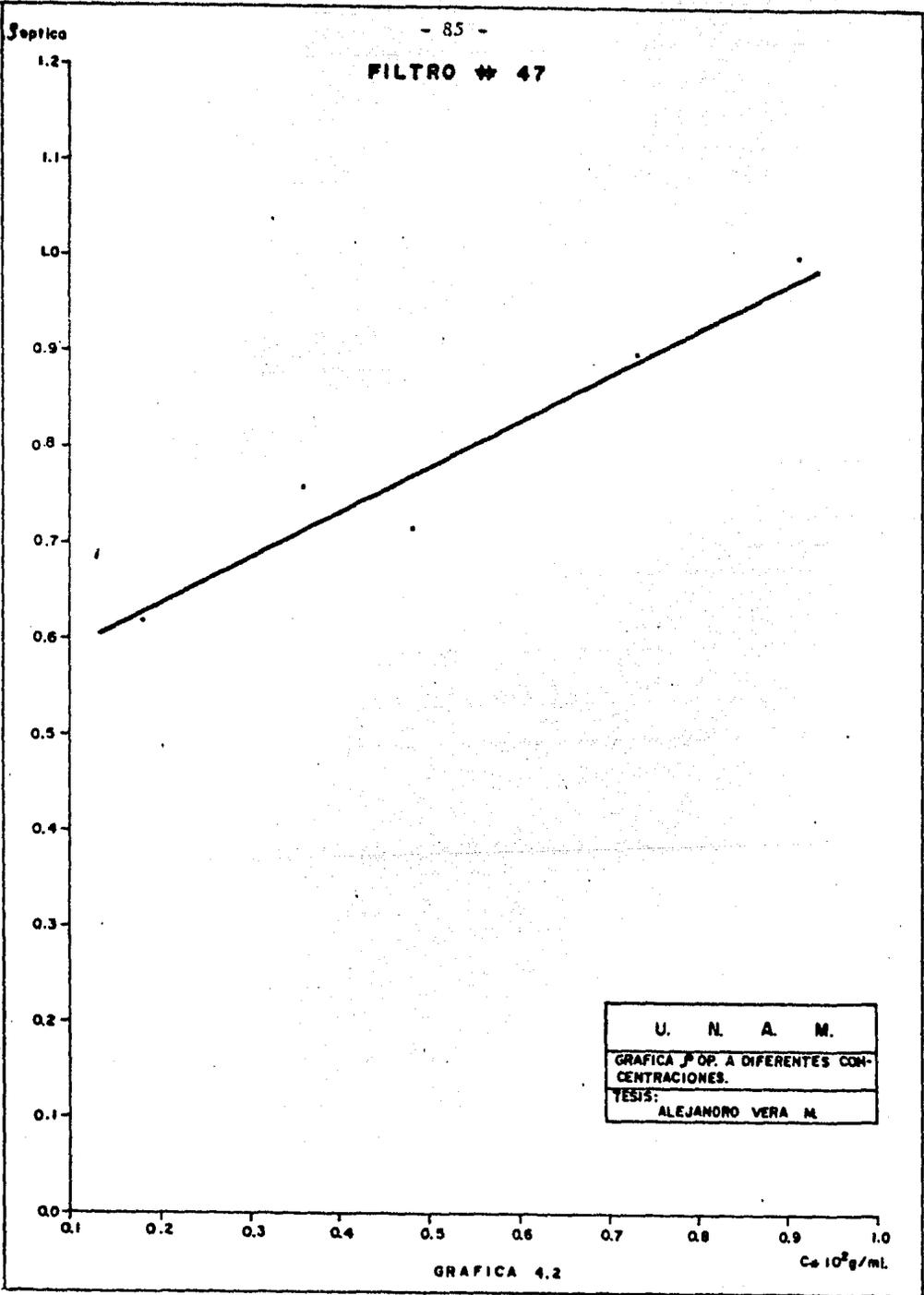
1.2  
1.1  
1.0  
0.9  
0.8  
0.7  
0.6  
0.5  
0.4  
0.3  
0.2  
0.1  
0.0

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0

GRAFICA 4.2

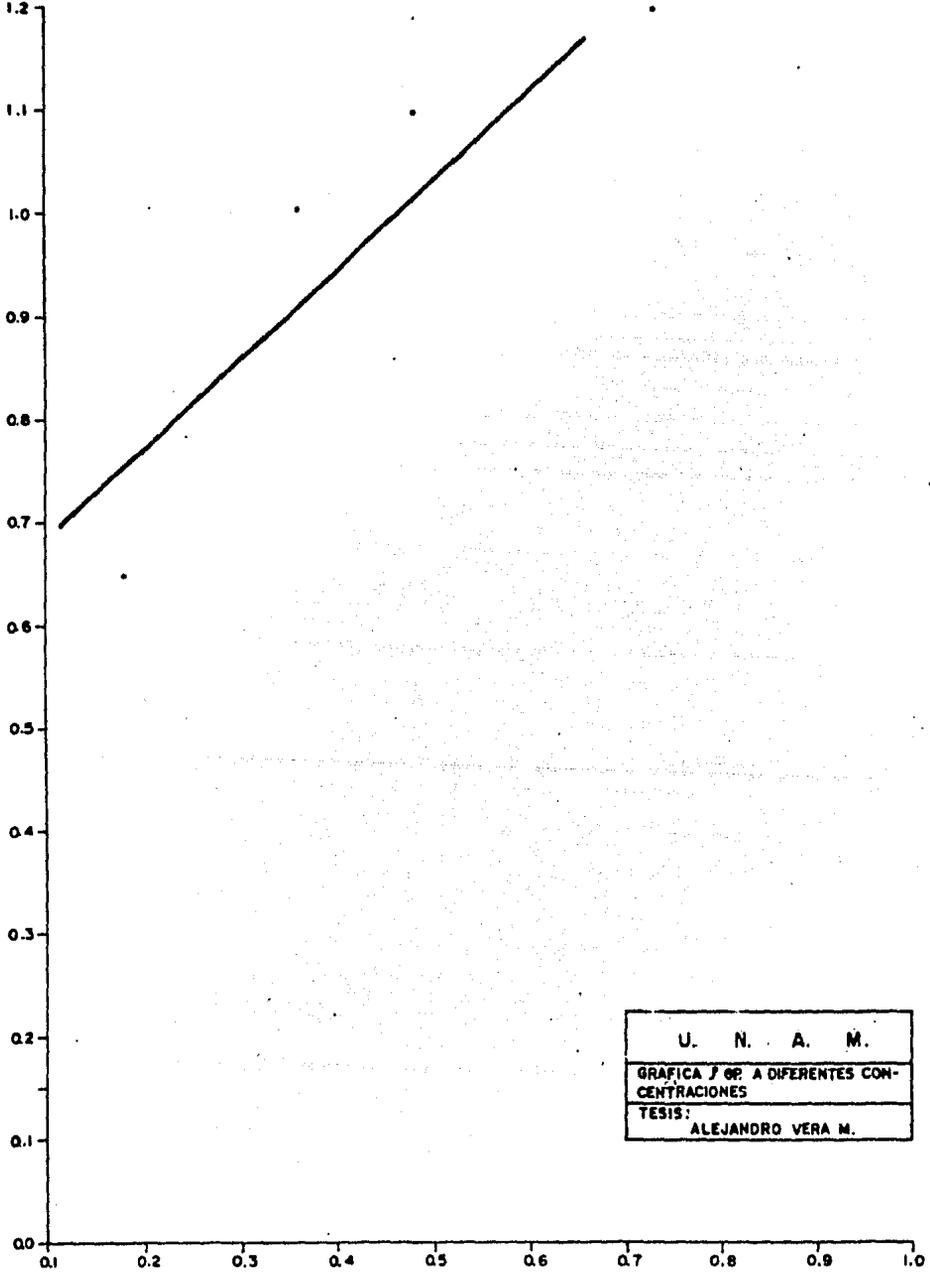
$C_p \cdot 10^2 \text{g/ml}$

U. N. A. M.
GRAFICA # OP. A DIFERENTES CONCENTRACIONES.
YESIS: ALEJANDRO VERA M.



FILTRO # 52

Septica



U. N. A. M.
GRAFICA # 09. A DIFERENTES CONCENTRACIONES
TESIS: ALEJANDRO VERA M.

GRAFICA 4.3

C x 10<sup>2</sup> g/ml

FILTRO # 61

$f_{optica}$

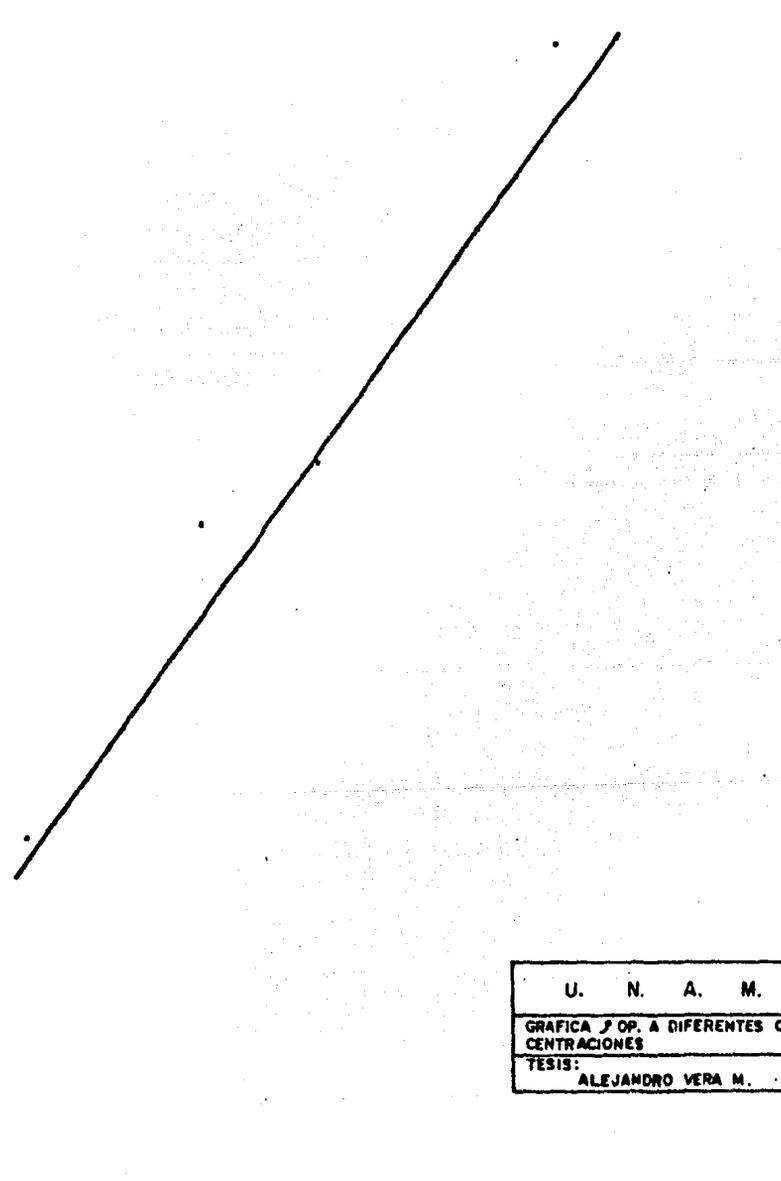
1.2  
1.1  
1.0  
.9  
.8  
.7  
.6  
.5  
.4  
.3  
.2  
.1  
0.0

0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0

GRAFICA 4.4

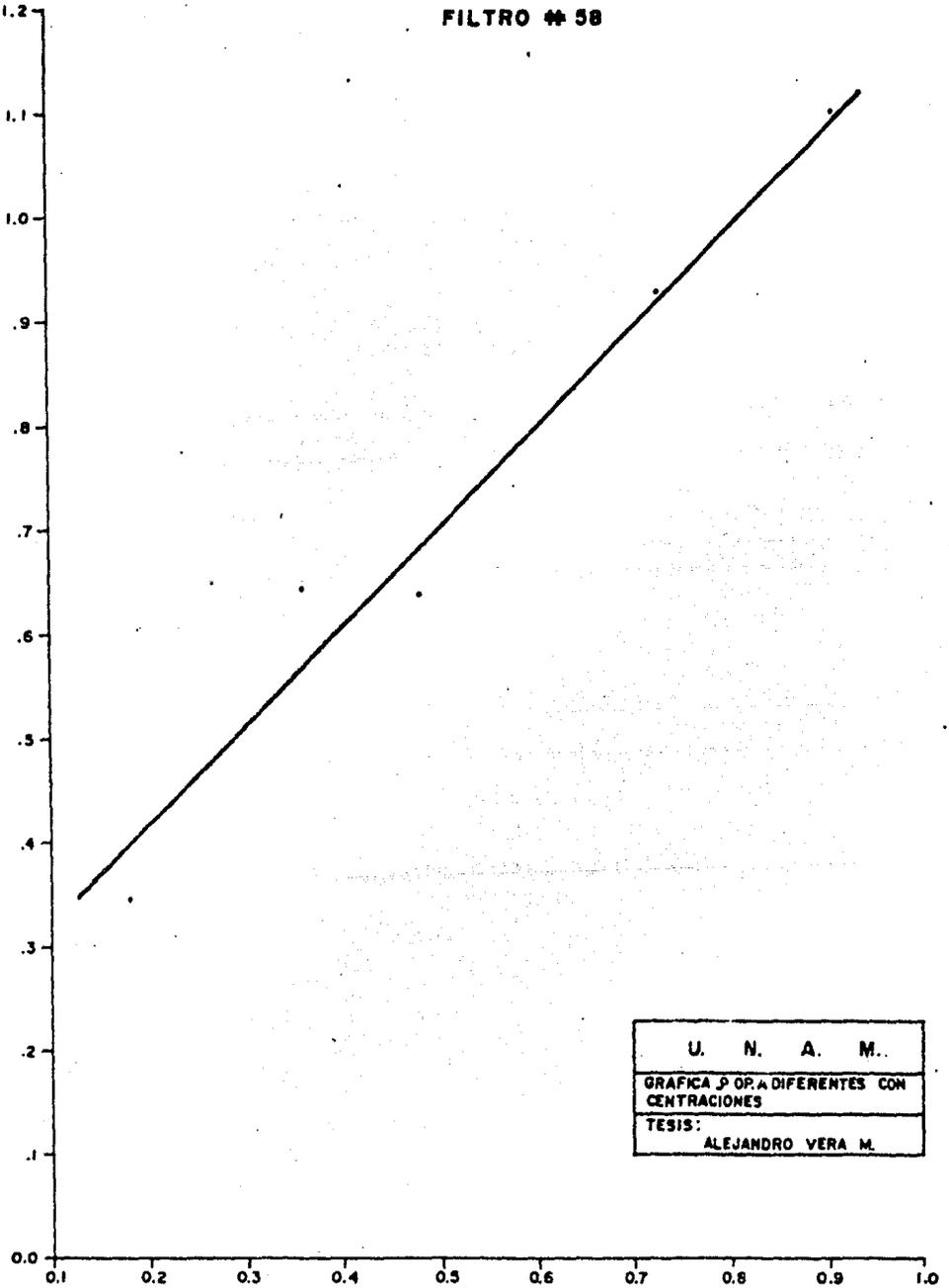
Ce-10 g/ml

U. N. A. M.
GRAFICA 5 OP. A DIFERENTES CON. CENTRACIONES
TESIS: ALEJANDRO VERA M.



FILTRO # 58

Septica



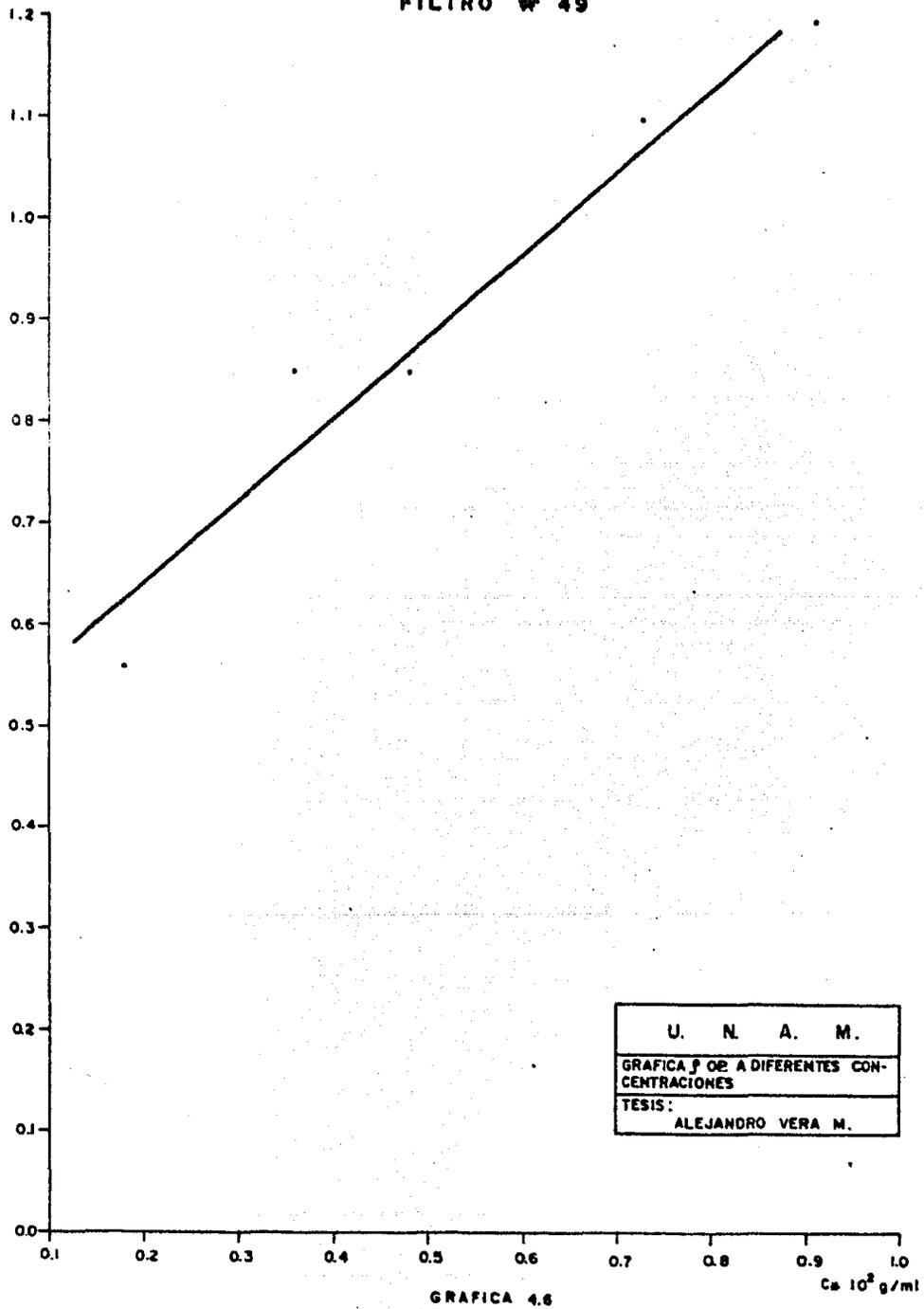
U. N. A. M.
GRAFICA 5 OP. A DIFERENTES CON CENTRACIONES
TESIS: ALEJANDRO VERA M.

GRAFICA 4.5

C x 10<sup>2</sup> g/mL

### FILTRO # 49

Septico

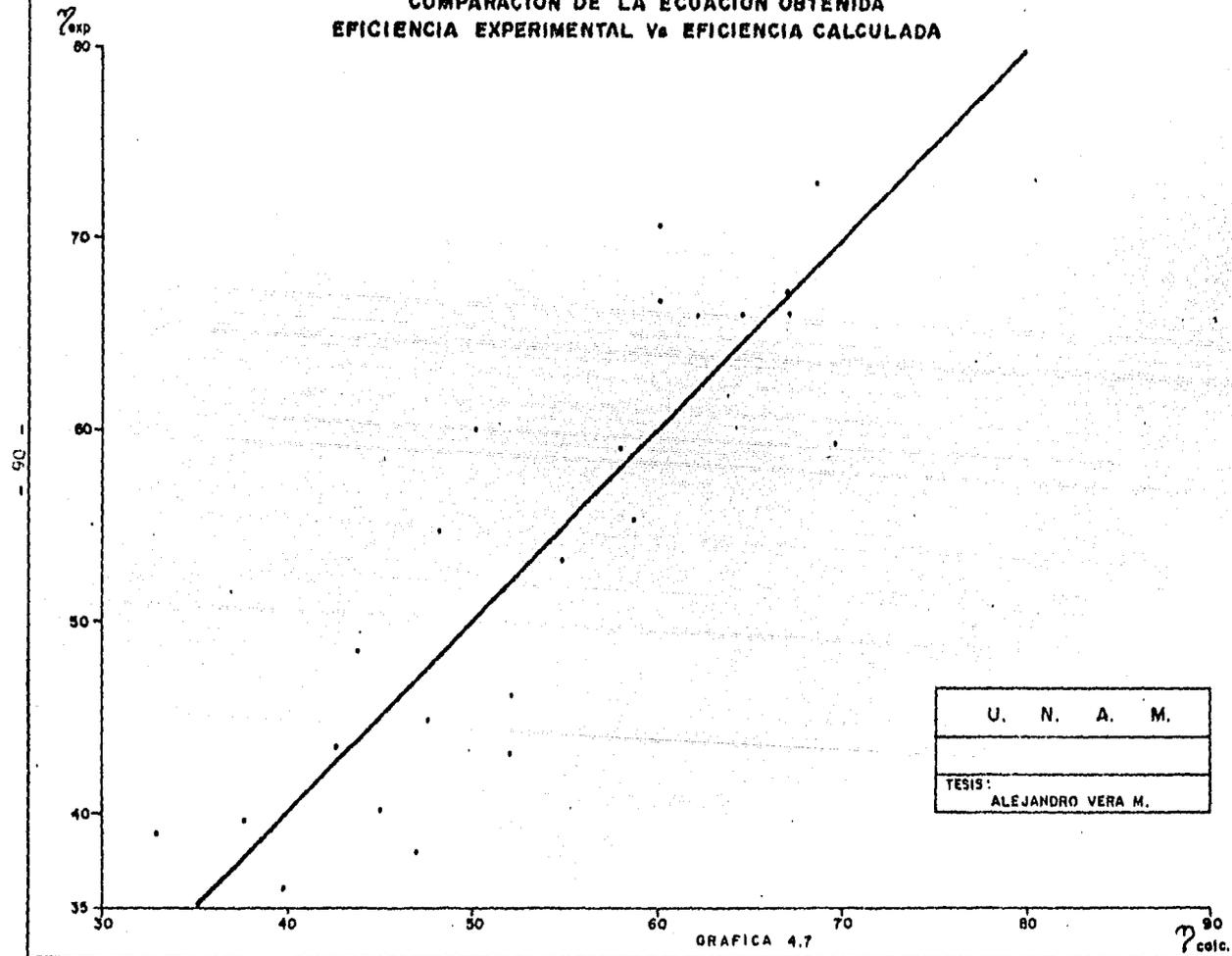


U. N. A. M.
GRAFICA P OR A DIFERENTES CON- CENTRACIONES
TESIS: ALEJANDRO VERA M.

GRAFICA 4.6

Ca 10<sup>2</sup> g/ml

COMPARACION DE LA ECUACION OBTENIDA  
EFICIENCIA EXPERIMENTAL Vs EFICIENCIA CALCULADA



GRAFICA 4.7

## C A P I T U L O V

OPERACION RECOMENDADA. - -

### OPERACION RECOMENDADA

Una vez conocida la eficiencia de desplazamiento mediante la ecuación (4.5) sera utilizada en la busqueda de un rango de operación en el cual las perdidas de licor son mínimas. Es decir dependiendo de la cantidad de Licor Negro desplazado, serán los sólidos residuales en la torta de descarga, esta cantidad de sólidos es muy importante pues tiene repercusión en algunos aspectos como son:

- 1) La cantidad de sólidos residuales en la torta de descarga representa pérdidas de álcali, álcali que debe reponerse mediante la adición de sulfato de sodio, esta adición es importante pues es necesario mantener cierto contenido de álcali para la buena cocción de la madera, en la etapa de digestión.
- 2) Dependiendo de la cantidad de sólidos que lleve la pulpa debera ser la cantidad de agua de lavado agregada, sin embargo existe un rango de pérdidas permitido por lo que agregar una mayor cantidad de agua representaría pérdidas, ó digamos desperdicio pues ese exceso de agua podría hacer falta en otra etapa del proceso.
- 3) El contenido de sólidos de la torta de descarga repercute en la operación de blanqueo, pues entre mayor sea la cantidad de sólidos en la pulpa a blanquear mayor cantidad de cloro sera requerido.
- 4) El licor que se recupera en la etapa de lavado va muy diluido como para poderse utilizar en la digestión por lo que se requiere de una evaporación para lograr la concentración de sólidos en el licor diluido pues para lograr una cierta concentración a la descarga del evaporador requiere de mayor cantidad de vapor, y aunque este vapor es obtenido de la degradación de maquinas, también tiene un valor, desde el momento en que energéticamente es utilizable.

Lo mencionado anteriormente esta relacionado con la eficiencia en el lavado, por lo tanto es un costo variable pues depende de la operación del lavado por esta razón se hará una comparación de dicho costo a diferentes condiciones de operación en el sistema de lavado con el objeto de obtener un punto

óptimo de operación en el que se logre obtener un costo mínimo. De acuerdo a la experiencia los rangos de operación que serán analizados son:

Consistencia tanque de soplado =  $C_{O_2} = (0.08, 0.10, 0.12)$   
 Consistencia torta de descarga =  $C_{3x} = (0.11, 0.13, 0.14)$   
 Consistencia repulper tercera etapa =  $C_{O_3} = (0.008, 0.010, 0.012)$ .

La eficiencia variara de acuerdo a la ecuación (4.5) por otro lado este análisis se hará bajo la suposición de que la concentración del licor en el tanque de soplado será prácticamente constante con un valor de 0.23 Ton sal/Ton sal.

Factor de dilución =  $F = (0, 1, 2.0, 4)$ .

Cálculo de la eficiencia a partir de  $C_{O_2}$  y  $C_{3x}$

$$\eta = -24.55 C_{O_3} - 539.028 C_{3x} + 118.660$$

$C_{O_3} / C_{3x}$	0.002	0.004	0.006	0.008	0.010	0.012
0.06	81.4	76.5	71.6	66.7	61.8	56.9
0.08	70.6	65.7	60.8	55.9	50.1	46.0
0.10	59.8	54.9	50.0	45.1	40.2	35.3
0.12	49.0	44.1	39.2	34.3	29.4	24.5
0.14	38.3	33.4	28.5	23.5	18.6	13.7

El análisis económico se hará sobre la base de los siguientes precios (Febrero de 1984).

$\text{Na}_2\text{SO}_4 = 9163.23 \text{ \$/Ton.}$

Vapor = 12  $\text{\$/Ton}$  (Tomando en cuenta que es degradación de turbinas).

Agua = 8  $\text{\$/M}^3$

$\text{Cl}_2 = 27176 \text{ \$/Ton.}$

### Procedimiento de Cálculo

1.- Costo por cantidad de agua de lavado.

El flujo de Agua de lavado esta dado por: la ecuación (20).

$$L_3 = F + (1/C_{3x} - 1) \text{ Ton Agua/Ton. P.S.}$$

$$\text{Costo Agua} = 8 \text{ \$/Ton.} * L_3 \text{ (Ton Agua/Ton. P.S.)}$$

$$\text{Costo Agua} = 8 * (F + (1/C_{3x} - 1)) (=) \text{ \$/Ton. P.S.}$$

2.- Costo por cantidad de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  utilizado.

Por experiencia se sabe que se requieren  $0.555 \text{ Ton Na}_2\text{SO}_4$   
Ton Sólidos

La cantidad de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  por unidad de masa de pulpa seca - esta dada por.

$$0.555 (1/C_{3x} - 1) A_{3x} (=) \text{ Ton Na}_2\text{SO}_4/\text{Ton P.S.}$$

$$\text{Costo de Na}_2\text{SO}_4 = 9163.23 \text{ \$/Ton Na}_2\text{SO}_4 * 0.555 (1/C_{3x} - 1) A_{3x}$$

$$\text{Costo de Na}_2\text{SO}_4 = 5091 (1/C_{3x} - 1) A_{3x} (=) \text{ \$/Ton. P.S.}$$

3.- Costo por cantidad de  $\text{Cl}_2$  usada.

Para el caso del cloro la relación es 1 Ton.  $\text{Cl}_2$ /Ton. P.S. por lo tanto el costo por cloro gastado es:

$$\text{Costo Cloro} = 27176 \text{ \$/Ton. P.S.} (1/C_{3x} - 1) A_{3x} (=) \text{ \$/Ton. P.S.}$$

4.- Costo por concepto de vapor empleado para la concentración del Licor Negro.

Del balance se sabe que  $A_1$  (concentración del licor a - evaporadores ) es:

$$A_1 = \frac{A_0 (1/C_0 - 1) - (1/C_{3x} - 1) A_{3x}}{R}$$

La evaporaciones en función de la concentración inicial y final es:

$$Aw = R \left( 1 - \frac{A_1}{A} \right)$$

Donde A es la concentración requerida a la descarga del sistema de evaporación y es igual a 45% sólidos.

Considerando una economía para el múltiple de 3.2 la - cantidad de vapor consumido es:

$$\text{Vap} = Aw/3.2 \text{ Ton. vap./Ton. P.S.}$$

Por tanto:

$$\text{Costo por vapor} = 12 \text{ \$/Ton vap} * R(1-A_1/A)/3.2$$

$$\text{Costo por vapor} = 3.75 * R(1 - A_1/A)$$

Costo Total = Costo por Agua + Costo por  $N_{a2}SO_4$  + Costo por  $Cl_2$  + Costo por Vapor.

$$\text{Costo Total} = 8(F+(1/C_{3x} - 1)) + 5091 (1/C_{3x} - 1) A_{3x} + 27176 (1/C_{3x} - 1) A_{3x} + 3.75 R(1 - A_1/A)$$

$$\text{Costo Total} = 8 (F+ (1/C_{3x} - 1)) + 32267 (1/C_{3x} - 1) A_{3x} + 3.75 R(1 - A_1/A)$$

$$\text{Donde } R = F + (1/C_0 - 1)$$

Análisis Económico de acuerdo a las condiciones de -  
operación empleados.

Dado que la variedad en las combinaciones en los valores de las variables a analizar es muy grande se recurrirá a especificar el valor de una ó de algunas de estas variables, - de acuerdo con la experiencia que se tiene en la operación de lavado. Un valor promedio utilizado del factor de dilución es de "2" con lo cual se ha eliminado el efecto de una de las - variables.

El procedimiento para este análisis será el siguiente:

Una vez que se ha fijado un valor recomendado para el - factor de dilución y para cierto valor de consistencia de alimentación se analizara el efecto de los otros dos valores.

1) Para  $F = 2$ ,  $A_0 = 0.23$  Ton. sólidos/Ton. solución,  
 $C_0 = 0.08$  Ton. P.S./Ton. Tot.  $C_{3x} = 0.06$  Ton. P.S./Ton. -  
 Tot.

$A_{3x}$ Calc	$\eta$ %	$C_{03}$ (Ton. P.S./Ton. Tot.)	Costo (\$)
0.079	81.4	0.002	40116
0.0822	76.5	0.004	41734
0.086	66.7	0.008	43656
0.089	56.9	0.012	45172

2) Para  $F = 2$ ,  $A_0 = 0.23$  Ton. sólidos/Ton. Tot,  $C_0 =$   
 $0.08$  Ton. P.S./Ton. Tot  $C_{3x} = 0.10$  Ton. P.S./Ton. Tot.

$A_{3x}$ Calc	$\eta$ %	$C_{03}$ (Ton. P.S./Ton. Tot.)	Costo (\$)
0.1010	59.8	0.002	29455
0.1050	54.9	0.004	30617
0.1100	45.1	0.008	32069
0.115	35.3	0.012	33522

3) Para  $F = 2$ ,  $A_0 = 0.23$  Ton. sólidos/Ton. solución,  
 $C_0 = 0.08$  Ton. P.S./Ton. Tot.  $C_{3x} = 0.14$  Ton. P.S./Ton. Tot.

$A_{3x}$ Calc	$\eta$ %	$C_{O3}$ (Ton.P.S./Ton. Tot.)	Costo (\$)
0.1180	38.3	0.002	23489
0.1220	33.4	0.004	24282
0.1284	23.5	0.008	25551
0.1350	13.7	0.012	26859

4) Para  $F = 2$ ,  $A_0 = 0.23$  Ton. sólidos/Ton. solución,  
 $C_0 = 0.10$  Ton. P.S./Ton. Tot.  $C_{3x} = 0.06$  Ton. P.S./Ton. Tot.

$A_{3x}$ Calc	$\eta$ %	$C_{O3}$ (Ton.P.S./Ton. Tot.)	Costo (\$)
0.0685	81.4	0.002	34802
0.071	76.5	0.004	36066
0.0740	66.7	0.008	37583
0.0765	56.9	0.012	38847

5)  $F = 2$ ,  $A_0 = 0.23$  Ton. sólidos/Ton. solución,  $C_0 = 0.10$  Ton. P.S./Ton. Tot.  $C_{3x} = 0.10$  Ton. P.S./Ton. Tot.

$A_{3x}$ Calc	$\eta$ %	$C_{03}$ (Ton. P.S./Ton. Tot)	Costo (\$)
0.0905	59.8	0.002	26400
0.093	54.9	0.004	27126
0.0975	45.1	0.008	28433
0.101	35.3	0.012	29450

6)  $F = 2$ ,  $A_0 = 0.23$  Ton. sólidos/Ton. solución,  $C_0 = 0.10$  Ton. P.S./Ton. Tot.  $C_{3x} = 0.14$  Ton. P.S./Ton. Tot.

$A_{3x}$ Calc	$\eta$ %	$C_{03}$ (Ton. P.S./Ton. Tot)	Costo (\$)
0.107	38.3	0.002	21303
0.110	33.4	0.004	21898
0.115	23.5	0.008	22889
0.122	13.7	0.012	24277

7) Para  $F = 2$ ,  $A_o = 0.23$  Ton. sólidos/Ton. solución,  
 $C_o = 0.12$  Ton. P.S./Ton. Tot  $C_{3x} = 0.06$  Ton. P.S./Ton. Tot.

$A_{3x}$ Calc	$\eta$ %	$C_{o3}$ (Ton.P.S./Ton. Tot)	Costo (\$)
0.060	81.4	0.002	30501
0.0605	76.5	0.004	30779
0.062	66.7	0.008	31800
0.066	56.9	0.012	33500

8) Para  $F = 2$ ,  $A_o = 0.23$  Ton. sólidos/Ton. solución,  
 $C_o = 0.12$  Ton. P.S./Ton. Tot.  $C_{3x} = 0.10$  Ton. P.S./Ton. Tot.

$A_{3x}$ Calc	$\eta$ %	$C_{o3}$ (Ton.P.S./Ton. Tot)	Costo (\$)
0.081	59.8	0.002	23638
0.0833	54.9	0.004	24306
0.087	45.1	0.008	25381
0.0904	35.3	0.012	26376

9) Para  $F = 2$ ,  $A_0 = 0.23$  Ton. sólidos/Ton. solución,  
 $C_0 = 0.12$  Ton P.S./Ton. Tot.  $C_{3x} = 0.14$  Ton. P.S./Ton. Tot.

$A_{3x}$ Calc.	$\eta$ %	$C_{03}$ (Ton. P.S./ Ton. Tot.)	Costo (\$)
0.0970	38.3	0.002	19318
0.0996	33.4	0.004	19833
0.1050	23.5	0.008	20904
0.1090	13.7	0.012	21697

De los resultados anteriores se observa que no existe un punto de costo mínimo, pues la tendencia es lineal sin embargo se presentan rangos de operación en donde el costo disminuye con lo cual se obtienen ahorros de unas condiciones de operación a otras.

Según los rangos de operación presentados en este trabajo la operación recomendada es la siguiente:

$$F = 2$$

$$A_0 = 0.23 \text{ Ton. sólidos/Ton solución}$$

$$C_{3x} = 0.14 \text{ Ton. P.S./Ton. Tot}$$

$$C_{03} = 0.002 \text{ Ton. P.S./Ton. Tot.}$$

$$C_0 = 0.12 \text{ Ton. P.S./Ton. Tot}$$

$$A_{3x} = 0.097 \text{ Ton. sólidos/Ton. solución}$$

$$L_3 = 8.143 \text{ Ton. Licor/Ton. P.S.}$$

$$R = 9.333 \text{ Ton. Licor/Ton. P.S.}$$

$$A_1 = 0.117 \text{ Ton. sólidos/Ton. solución}$$

$$R'_1 = 491.66 \text{ Ton. Licor/Ton. P.S.}$$

$$R_1 = 501.0 \text{ Ton. Licor/Ton. P.S.}$$

$$L_1 = 8.143 \text{ Ton. Licor/Ton. P.S.}$$

$$A_{01} = 0.119 \text{ Ton. sólidos/Ton. solución}$$

$$A_2 = 0.096 \text{ Ton. sólidos/Ton. solución}$$

$$A_{1x} = 0.107 \text{ Ton. sólidos/Ton. solución}$$

$$R'_2 = 491.66 \text{ Ton. Licor/Ton. P.S.}$$

$$R_2 = 501.0 \text{ Ton. Licor/Ton. P.S.}$$

$$L_2 = 8.143 \text{ Ton Licor/Ton. P.S.}$$

$$A_{02} = 0.096 \text{ Ton. sólidos/Ton. P.S.}$$

$A_3 = 0.196$  Ton. sólidos/Ton. P.S.

$A_{2x} = 0.148$  Ton. sólidos/Ton. P.S.

$A_{o3} = 0.1982$  Ton. sólidos/Ton. P.S.

$A_{3x} = 0.0976$  Ton. sólidos/Ton. P.S.

En estas condiciones de operación el costo variable - antes mencionado sería de 19318 \$/Ton. P.S.

Para una producción de 300 Ton. P.S./Día el costo es: 5,795,400 \$/Día.

Las condiciones en las que normalmente se están trabajando son:

Consistencia en el tanque de soplado = 10%

Factor de dilución = 2.0

Consistencia en la torta de descarga del filtro = 6%

Consistencia en los repulpers = 1%

Concentración de licor en el tanque de soplado = 23%

Concentración en la torta de descarga = 6% (ultimo lavador)

En estas condiciones la eficiencia de lavado es de 61.8% y el costo de operación de acuerdo a la figura (5.2) es de - 38,500 \$/Ton. P.S. lo cual significa una diferencia de 19,182 \$/Ton. P.S. con respecto a las condiciones de operación antes mencionadas, que para una producción de 300 T/D significa un ahorro de 5,754,600 \$/D.

Este ahorro puede lograrse modificando la consistencia en el tanque de soplado así como la consistencia de la torta de descarga.

En el caso de no poder variar la consistencia de soplado es posible conseguir disminuciones en el costo solamente con variar la consistencia en la torta de descarga y ajustar la consistencia del ultimo repulper en el valor de 0.2% con lo cual de acuerdo a la fig. (5.2) el costo sería de 21,200 \$/Ton. P.S. obteniéndose así un ahorro de 17,300 \$/Ton. P.S.

que para una producción de 300 T/D. significa 5'190,000 \$/D en la disminución del costo .

Estas disminuciones en el costo variable de operación son de interés pues no representan inversiones en equipo nuevo, sino que pueden lograrse solo con una operación controlada bajo ciertos rangos, ya antes mencionados.

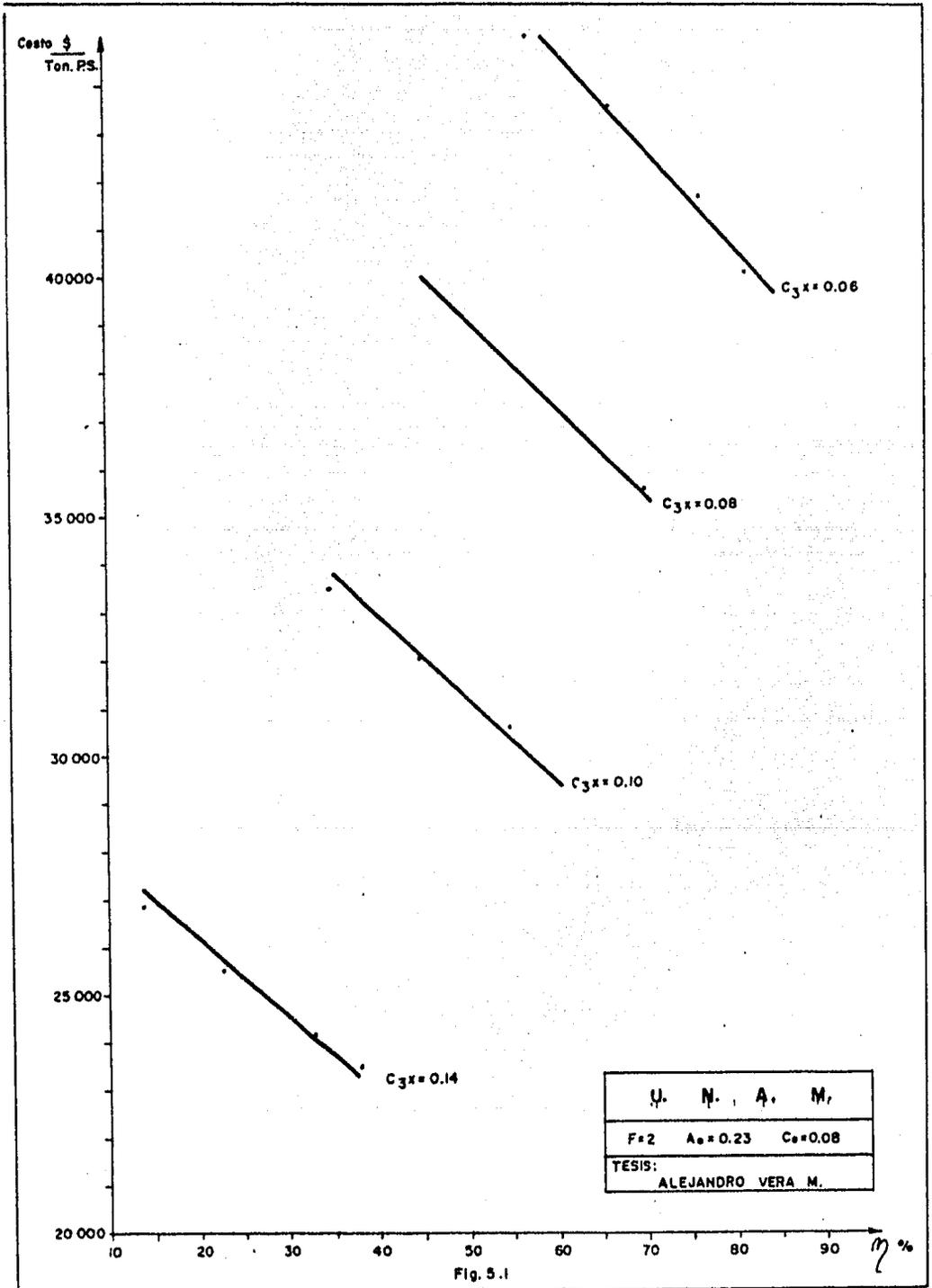
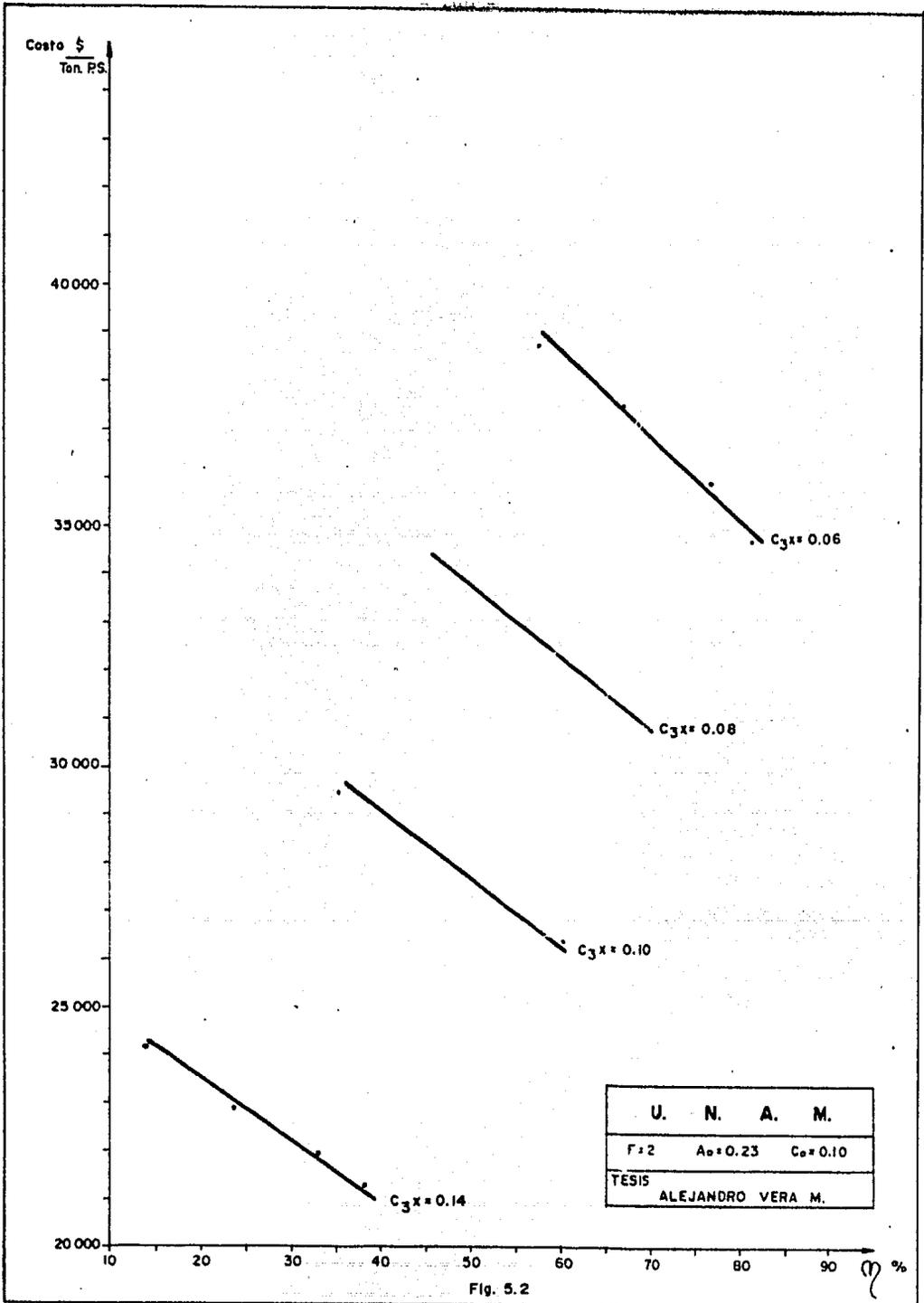
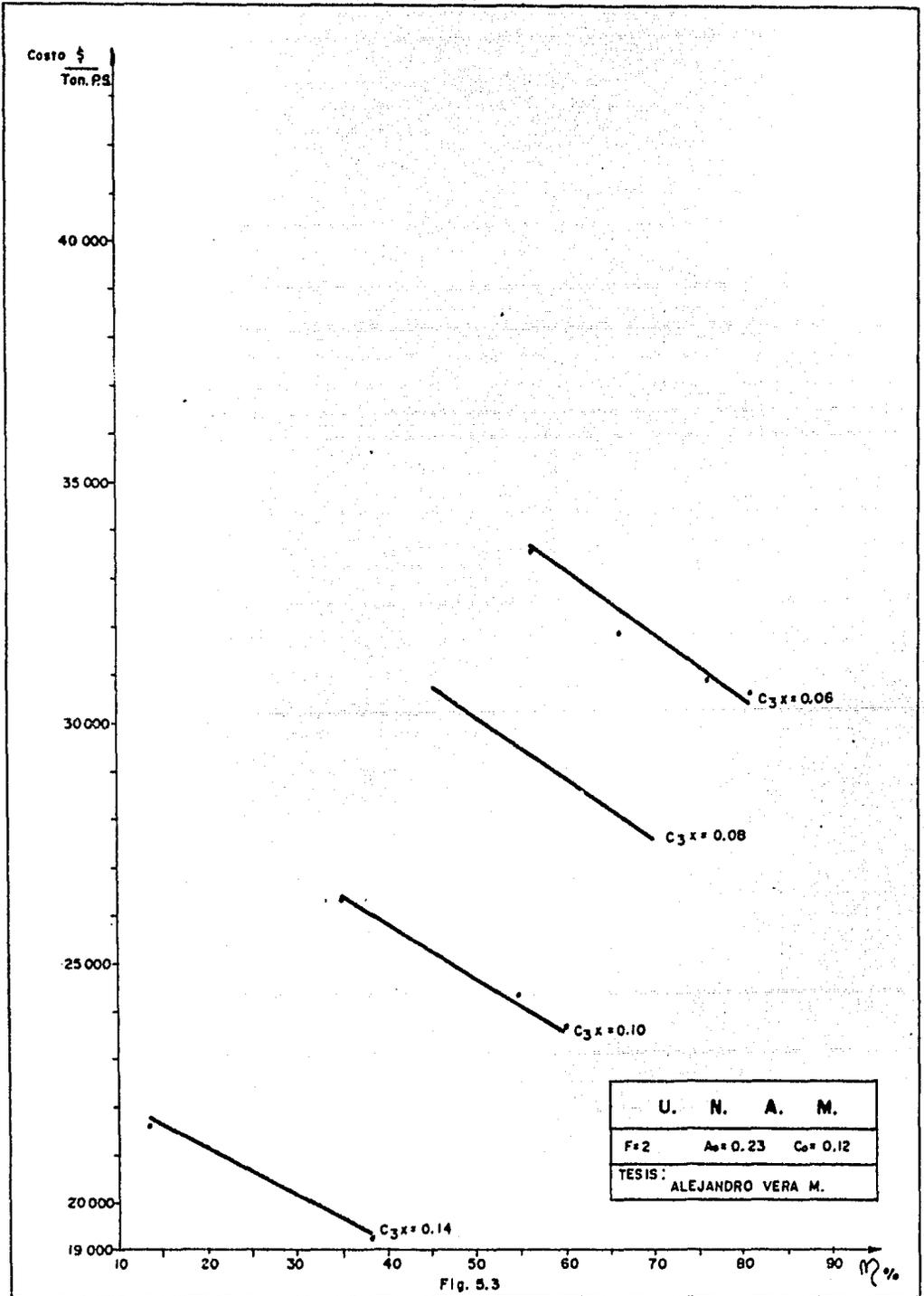


Fig. 5.1



U. N. A. M.		
F: 2	A <sub>0</sub> =0.23	C <sub>0</sub> =0.10
TESIS ALEJANDRO VERA M.		

Fig. 5.2



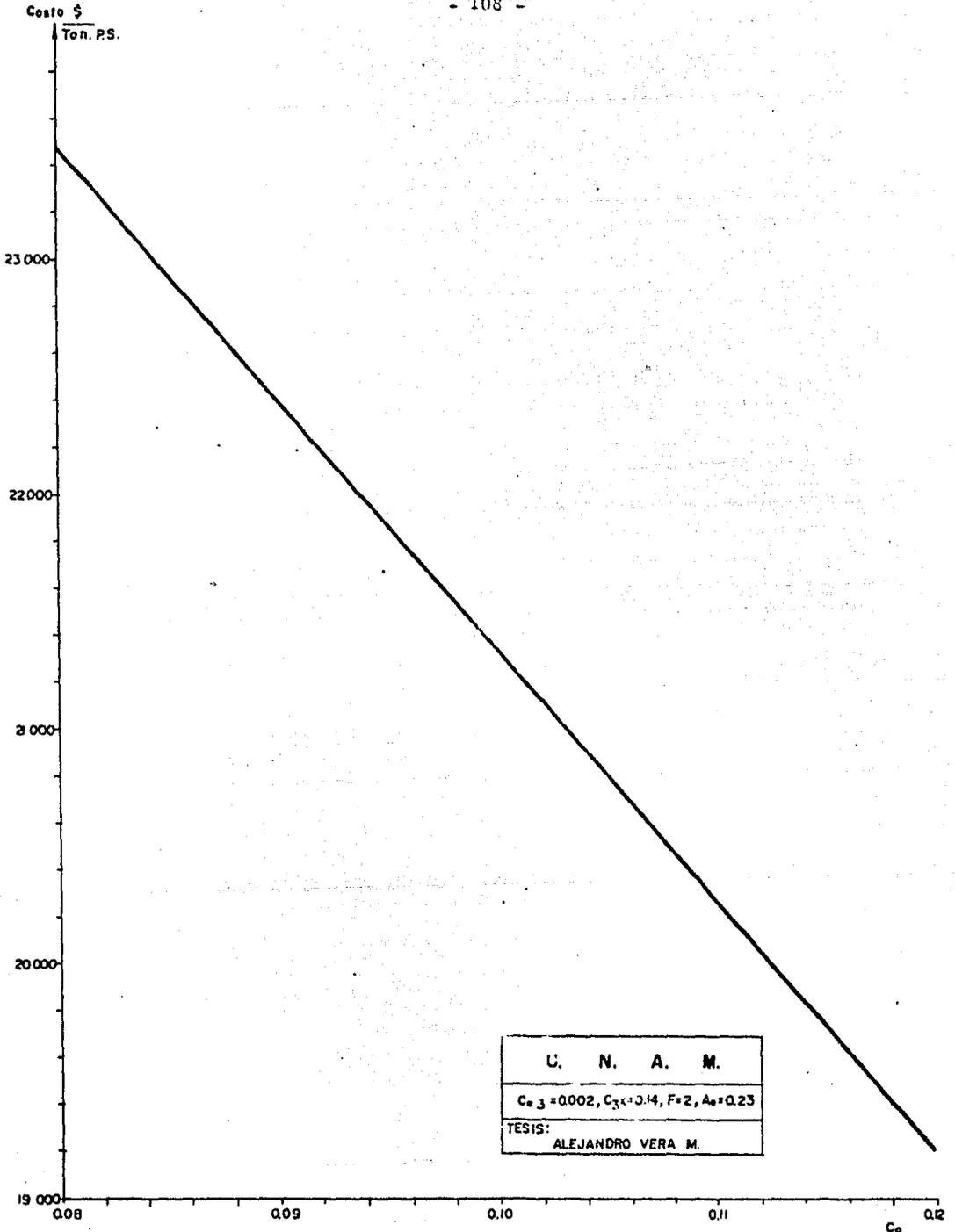


Fig. 5.4

CAPITULO VI  
CONCLUSIONES. -

La operación de un sistema de filtración es muy complicada pues intervienen un gran número de variables, sin embargo es posible fijar algunas de estas y simplificar la operación. En el presente trabajo se mantuvieron constantes la velocidad del cilindro, el vacío utilizado, además del tipo de madera como materia prima.

Del balance de materia se encontró una expresión para conocer la eficiencia de lavado como una función de variables que pueden determinarse fácilmente. la cual sirvió para determinar el efecto de ciertas cantidades sobre la eficiencia de lavado.

Después de un análisis estadístico se llegó a una ecuación de eficiencia que contiene como variables la consistencia de la pulpa de descarga y la consistencia en el repulper de la última etapa, las cuales finalmente están relacionadas con el agua de lavado.

Para determinar las condiciones de operación más recomendadas se utilizó esta ecuación de eficiencia con lo cual se pretendía encontrar un mínimo en cuanto a los costos variables, sin embargo esta no fue posible pues la relación entre estos costos y la eficiencia resultó ser lineal, con lo cual se puede observar regiones de operación más recomendables, en donde los costos son bajos.

Dependiendo de la operación, la diferencia entre los costos variables puede ser hasta de 26000 \$/Ton. P.S. el cual hablando de 300 T/D de pulpa seca representa variaciones dignas de consideración. Cabe señalar que este estudio está basado en precios de (Febrero de 1984) por lo cual, puede estar sujeto a cambios de acuerdo a la política de precios existente en un determinado momento.

Sin embargo, si los costos de los materiales analizados presentan la misma tendencia y la misma relación de precios, este estudio puede ser útil con sólo una fórmula de escalación. Así pues para operar el sistema de lavado es necesario tener las siguientes consideraciones.

- 1) Operar con la máxima velocidad (0.05 RPM)
- 2) Máximo vacío disponible

Este aspecto se refiere al hecho de no colocar algún dispositivo que permita manipular el vacío del sistema como pudiera ser una válvula.

Sin embargo, el vacío puede variar por la existencia de espuma, problema que puede resolverse con relativa facilidad mediante el uso de anti-espumante.

- 3) Tipo de madera utilizada pino
- 4) Concentración del licor en el tanque de soplado = 0.23 Ton. Sólidos/Ton. Solución.
- 5) Factor de dilución fijo = 2 Ton.  $H_2O$ /Ton. P.S.

Una vez que estén determinados estos factores las variables que podemos manipular son:

- a) La consistencia de la pulpa en la alimentación
- b) La consistencia en la torta de descarga
- c) La consistencia en el repulper de la última etapa

De las gráficas obtenidas en el capítulo V se observa que para una determinada consistencia de alimentación es muy importante mantener la mayor consistencia en las tortas de descarga, pues esto representa disminuciones considerables en los costos variables de operación.

Por otro lado, para cierta consistencia de alimentación y una determinada consistencia en las tortas de descarga tenemos la opción de variar la consistencia en el repulper - con lo cual tenemos disminución en los costos variables que no son tan significativos como los mencionados anteriormente pero que si representan un buen ahorro.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Pulp and Paper Manufacture  
The pulping of wood  
Second Edition  
Joint Text book comittee of the paper industry  
Mc. Gran Hill.
- 2.- Enciclopedia de Química Industrial  
Thorpe.
- 3.- Enciclopedia de Tecnología Química  
Kirck - Othmer.
- 4.- Introducción a la Ingeniería Química  
Walter L. Badger  
Juliust Banchemo  
Mc. Gran Hill
- 5.- Instrumentación Química  
Howard A. Strobel  
Editorial Limusa.
- 6.- The manufacture of pulp and paper  
Preparation and Treatment of wood pulp  
Vol. III  
Mc. Gran Hill
- 7.- Metodos Estadisticos  
Owen L. Davies  
Editorial Aguilar
- 8.- Filtration  
George D. Dickey, P.E.  
Reinhold Chemical Engineering Series

9.- Manual del Ingeniero Químico

John H. Perry  
Tercera Edición  
Mc. Gran Hill

10.- Ciencia y Tecnología sobre Pulpa y Papel

C. Earl Libby  
Editorial C.E.C.S.A.

11.- La Contabilidad en la Administración de Empresas

Robert N. Anthody  
Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana