

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE QUIMICA

**ANALISIS DEL FACTOR DE CARMAN PARA FILTROS
PRENSA, EN EL LABORATORIO DE INGENIERIA
QUIMICA Y CON EXPANSION A FILTROS DE
NIVEL INDUSTRIAL**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A :

CARLOS RAFAEL GONZALEZ VILCHIS



MEXICO, D. F.

1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: PROF. GENOVEVO SILVA PICHARDO

VOCAL: PROF. YOLANDA LOZADA GOMEZ

SECRETARIO: PROF. HECTOR GERARDO MENDEZ FREGOSO

1er. SUPLENTE: PROF. TOMAS VIVEROS GARCIA

2do. SUPLENTE: PROF. MARIANO PEREZ CAMACHO



**EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA**

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

**LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA, DE LA
FACULTAD DE QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

I.Q. GENOVEVO SILVA PICHARDO
(ASESOR DEL TEMA)

CARLOS RAFAEL GONZALEZ VILCHIS
(SUSTENTANTE)

A large, stylized handwritten signature in black ink, which appears to be a signature over the printed name of Carlos Rafael Gonzalez Vilchis.

AGRADEZCO A DIOS

AGRADEZCO A MIS PADRES:

MARIA VILCHIS DE GONZALEZ

TOMAS GONZALEZ SERRATOS

**POR EL AMOR
POR EL APOYO INCONDICIONAL
POR EL ESFUERZO REALIZADO**

DEDICATORIA

A MI HERMANO JOSE ANTONIO
A CRISTINA, MIGUEL ARTURO Y DAVID MATEO

A MI TIO CARLOS MURILLO, MI TIA SARA VILCHIS
A ANGELICA Y A LUZ JAZMIN
A MI TIO JORGE Y MI TIA ROSA
A ROXANA, RAQUEL Y JESUS
A MI TIO ARNULFO Y MI TIA TERESA
A GABRIEL, ENRIQUE Y ARACELI
A MAGDALENA CRUZ

POR SU APOYO Y SU CARINO

A MIS AMIGOS:

ANTONIO MACIAS
CLAUDIA VALENZUELA
SALVADOR RIVAS
A ALMA ESLAVA, REBECA BALDERAS,
MOISES Y ROSARIO

POR QUE SIEMPRE ESTAN CUANDO MAS LOS NECESITO
POR QUE CON USTEDES PASE LOS MEJORES MOMENTOS

AGRADEZCO AL INGENIRO QUIMICO:

GENOVEVO SILVA PICHARDO

POR DIRIGIR EL PRESENTE TEMA DE UNA MANERA TAN ACERTADA.

POR SU TIEMPO Y SU APOYO. POR SU PROFESIONALISMO Y
COMPRESION.

AGRADEZCO TAMBIEN A LA INGENIERO QUIMICO:

YOLANDA LOZADA GOMEZ

Y AL INGENIERO: HECTOR GERARDO MENDEZ FREGOSO

POR SUS VALIOSAS APORTACIONES AL PRESENTE TRABAJO.

POR SU DEDICACION Y ESFUERZO.

INDICE

INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I	
GENERALIDADES.....	7
CAPITULO II	
ANALISIS DE LA TEORIA DE GARMAN Y PARTE EXPERIMENTAL.....	19
CAPITULO III	
RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	33
CAPITULO IV	
ANALISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	78
CAPITULO V	
EXPANSION DE RESULTADOS PARA FILTROS INDUSTRIALES.....	80
CAPITULO VI	
PROPUESTA DE PRACTICA PARA EL LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA.....	83
CAPITULO VII	
CONCLUSION.....	86
BIBLIOGRAFIA.....	92

INTRODUCCION

FILTRACION

INTRODUCCION

Primeramente se definiran los conceptos más usados dentro de la filtración con el fin de familiarizarnos con los términos y con lo que es esta operación unitaria y la importancia que tiene en ingeniería química.

La filtracion es un proceso de separación el cual consiste en retirar un sólido del seno de un fluido en el cual se encuentra suspendido dicho sólido, donde el fluido puede ser un liquido o un gas, lo cual se consigue pasando la mezcla a través de un medio poroso.

La importancia de esta operación es muy amplia y entra en todos los campos de la química por ejemplo se emplea para recuperar solutos valiosos partiendo de soluciones diluidas, para quitar sustancias indeseadas, denominadas contaminantes, de una solución esto donde la parte recuperable o útil sea el sólido, pero también es muy común que la parte más importante de la mezcla sea el fluido y se pretenda recuperar este de manera muy pura. Sin embargo, generalmente, ambos componentes de la mezcla deben ser recuperados de manera pura, pues ambos son muy importantes. Y es desde este punto de vista donde debemos tomar los criterios para el uso de los coadyuvantes pues un mal uso de estos traería como consecuencia una buena separación de la mezcla original sólido-liquido pero alguna de las dos partes, preferentemente la sólida, quedaría contaminada con el coadyuvante empleado para la filtración, y si es el sólido el de importancia primordial entonces ahora

deberíamos usar otro proceso de separación para retirar el coadyuvante del sólido requerido, encareciendo de esta manera el proceso original de separación por filtración. En el siguiente capítulo se hablará más de que son y como funcionan los coadyuvantes y más aun se establecerán los criterios para su adecuado uso.

En la industria los filtros se usan en la gran mayoría de las ocasiones para filtrar sustancias en las que la parte importante es el filtrado; por ejemplo la industria cervecera los usa para quitar sólidos suspendidos a sus productos, lo mismo hacen con los vinos, de esta manera es común que el filtro ayuda (coadyuvante), quede mezclado con los desechos sólidos. Este filtro ayuda se desecha junto con los sólidos separados y no se recicla pues es más económico usar filtro ayuda nuevo que tratar de limpiar el usado y por otro lado apuntemos también que es muy recomendable usar filtro ayuda para realizar las filtraciones pues es más rentable que no hacerlo porque entonces aumenta el tren de filtración.

Desde el punto de vista de la tecnología en la ingeniería química es importante conocer la operación con el fin de:

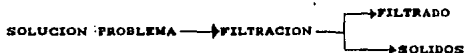
Seleccionar el tipo de filtro más adecuado que debe ser usado para conseguir los fines deseados.

Llegar a un equilibrio entre economía y eficiencia con el fin de encontrar las dimensiones más adecuadas para el diseño del equipo de filtración.

Predecir cuales son las condiciones de operación

que haran que se consigan los fines preestablecidos así como definir las condiciones de lavado.

Poder decidir en que condiciones debe trabajar un filtro, del cual ya se dispone, con el fin de conseguir los resultados deseados.



ESQUEMA GENERAL DE LA OPERACION

El uso de los filtros prensa.—Para hacer una filtración hacen falta dos elementos principalmente uno es la solución problema, solución consistente en un fluido que tiene un sólido en solución y dos un equipo que separe al fluido del sólido, este equipo es el filtro.

Si pensamos en el funcionamiento del filtro podremos imaginarnos que para que se lleve a cabo la operación hace falta una malla o tamiz que retenga las partículas del sólido que deseamos separar, en el momento que este pasando la solución problema a través del filtro, para lo cual se requiere que los poros de la red sean de tamaño menor al tamaño de las partículas del sólido que deseamos retirar del seno del fluido. Pero si es de esta manera entonces el poro se bloquearía al recubrirse con la primera capa de sólido retenido y entonces debe detenerse, en ese momento, la operación de filtrado, lavarse la malla con el fin de retirar

el sólido atrapado, montar nuevamente el equipo e iniciar un nuevo ciclo de trabajo. Haciendolo de esta forma, la operación sería demasiado lenta y costosa.

Ahora pensemos en el caso opuesto en el que el poro de la malla es de tamaño mayor al de las partículas del sólido, con lo cual se logra que no se obstruyan las cavidades de la red y no tendríamos problema de desmontar el equipo para darle mantenimiento de limpieza; pero de esta forma estaríamos haciendo que las partículas del sólido no advirtieran la presencia de la malla y pasarán a su través sin ningún problema con lo cual no se estaría logrando el objetivo preestablecido de separar el sólido del fluido.

Entonces cómo es que funcionan los filtros? Pues bien, la realidad es que los poros de los filtros son de tamaño superior al de las partículas y estas se retienen debido a que se adhieren a los hilos de la malla gracias a la energía superficial de las partículas. Entonces lo que sucede es que al principio algunas partículas se adhieren a la malla por esa fuerza y otras logran pasar, luego llegan más y más partículas sólidas a unirse a las que ya se encuentran en el material filtrante y son estas mismas las que impiden el paso de más sólido. En este momento decimos que se ha formado una torta que impide que más solución problema se filtre entonces debemos aplicar presión para que la operación no se detenga en ese momento y la cantidad de filtrado aumente.

De esta forma logramos que se filtre la cantidad deseada, pero no la tenemos en las condiciones deseadas pues

en la mayoría de los casos el filtrado sale aun turbio por lo que se debe regresar para filtrarlo nuevamente hasta obtener la concentración deseada.

El medio filtrante no es necesariamente una malla o un tamiz, este puede ser un sólido poroso, un sólido granulado o un gel que sea capaz de contener el sólido no deseado en el fluido. Son varias las características que debe reunir el material filtrante:

Resistencia al flujo mínima.

Resistencia química máxima.

Resistencia mecánica máxima.

Resistencia al desgaste máxima.

Superficie lisa.

Se desea que la resistencia al flujo sea pequeña, con la finalidad de no impedir el libre paso del material a tratar, pues si se impide el flujo, este será aumentado nuevamente mediante el suministro de presión y esto repercute en la economía del proceso pues la presión cuesta cara.

El material debe ser seleccionado de manera que el flujo no presente reacción química pues esto acaba con el material filtrante trayendo como consecuencia la contaminación del producto objetivo.

Debido a que se aplica presión en la operación, el material debe presentar la resistencia mecánica suficiente para no sufrir deformaciones o fragmentarse.

Todos los materiales por su uso sufren un desgaste por lo que debe ser seleccionado un material filtrante que sufra

mínimo desgaste en estas condiciones de trabajo.

Se prefiere que la superficie sea lisa con el fin de no perder material filtrante en el momento de hacerle limpieza.

CAPITULO I

GENERALIDADES

GENERALIDADES

Clasificaremos a los filtros según sea el mecanismo que usen para aplicar la presión necesaria para vencer la resistencia al flujo, que se presenta al atravesar el material filtrante y la porción de la torta de sólidos que se está formando. Así pues, tenemos tres grandes grupos de filtros:

- a) *FILTROS DE GRAVEDAD.*
- b) *FILTROS DE VACIO.*
- c) *FILTROS A PRESION.*

En los filtros de gravedad la presión de filtración está determinada por la carga hidrostática del propio líquido. El equipo consiste en un tanque que tiene doble fondo y un relleno de material filtrante que se presenta en forma granular, por ejemplo, arena. Si el material filtrante es de partícula pequeña se le pone un soporte, por ejemplo, a la arena se le coloca sobre grava y a la grava sobre el primer fondo del tanque.

Para operar este tipo de filtro se esparce, con ayuda de placas de esparción en la parte superior del tanque, el líquido a filtrar, el cual escurre por gravedad a través del material filtrante, llegando hasta el segundo fondo del tanque donde se extrae el filtrado.

El equipo cuenta, además, con boquilla de hombre para su limpieza y en ocasiones se le implementa un dispositivo de presión con algún inerte con el fin de aumentar la velocidad de filtración. Este tipo de equipo es usado cuando el material que enturbia al fluido es poco, no puede ser empleado con líquidos volátiles que lejos de escurrir se volatilicen. El uso de los filtros de gravedad es realmente limitado encontrándose su principal aplicación en el paso inicial de filtración de aguas residuales; a niveles industriales los filtros a presión ocupan un 80% y los de vacío un 20% de tal suerte que los de gravedad no figuran como filtros de uso común.

En los filtros al vacío tenemos dos modalidades:

- a) *Filtros al vacío de funcionamiento discontinuo.*
- b) *Filtros al vacío de funcionamiento continuo.*

El primero de ellos, *filtros al vacío de funcionamiento no continuo*, funciona muy parecido al filtro de gravedad pero en este caso se le adiciona un sistema de bomba de vacío en la parte que esta entre los dos fondos del tanque. El líquido problema se inyecta por la parte superior del recipiente y se hace el vacío por la parte inferior de este, con lo cual se

acelera la operación, venciendo de esta forma la resistencia al flujo que se presenta debido al material filtrante y a la acumulación de partículas sólidas que están siendo retiradas del líquido problema. Este sistema se satura y debe ser interrumpida la operación con el fin de lavar el material filtrante.

Los filtros al vacío de funcionamiento continuo son cilindros cuya envoltura es una malla metálica, dicho cilindro está introducido en una cuba, a la cual se está alimentando continuamente líquido turbio y por el fondo de la misma llega una corriente de aire uniformemente distribuido en el recipiente con el fin de agitar y mantener homogéneo el líquido problema.

El cilindro gira teniendo la mitad (o menos) de su cuerpo sumergido en la cuba, con lo cual se puede controlar el área de filtrado y con las revoluciones por minuto se puede tener controlado el espesor de la torta que se está formando.

Al estar girando, el cilindro, se identifican cinco zonas de trabajo:

- 1.-Zona de filtración.
- 2.-Zona de escurrido.
- 3.-Zona de lavado.
- 4.-Zona de desecación.
- 5.-Zona de limpieza.

La primera de ellas, la zona de filtración, es la parte del cilindro que esta sumergida en el liquido problema, en esta parte existe vacio en el interior del cilindro con lo que se consigue que las partículas sólidas se adieran a la malla formando de esta forma una torta. En el interior de esta zona esta colocado un colector que recibe el liquido libre de partículas sólidas.

Una vez formada la torta, el cilindro gira pasando la torta a la segunda fase de trabajo que es la zona de escurrimiento, en la cual se desprende la parte de liquido que aún pueda arrastrar la torta, en esta zona aún persiste la presión de vacio en el interior del cilindro, esto con el fin de fijar la torta de solidos en su superficie.

Semi-fija la torta al cilindro entonces el giro hace llegar la torta a la siguiente zona de trabajo que es la de lavado, en la cual se encuentran aspersores de agua que lavan la torta, con el fin de retirar parte del liquido que aún contenga.

Continuando con la rotación del cilindro llegamos a la zona de desecación, en la cual por medio de vacio que aún persiste, se seca un poco la torta para finalmente llegar a la zona de limpieza en la que estan colocada unas cuchillas que raspan el cilindro, depositando así la torta en una tolva colectora, esta es la única zona del cilindro en la que se aplica una ligera presión desde adentro y hacia afuera con el fin de desprender la materia sólida unida al cuerpo del

cilindro; y nuevamente regresar a la zona uno, teniendo nuevamente el cilindro limpio para iniciar nuevamente el proceso.

Este tipo de filtros es usado para cuando se necesita manejar un gran volumen de líquido problema, requiere poca mano de obra. No puede ser usado cuando el sólido no tiene diametro de partícula uniforme pues esto evita la formación de la torta en la superficie del cilindro. Tampoco puede usarse con partículas gelatinosas o sustancias que ataquen el material con el que está construido el equipo.

Finalmente pasaremos a los filtros a presión de los cuales tenemos dos modalidades:

- a) Filtros de caja.

- b) Filtros prensa.
 - b.i Filtros prensa de camaras
 - b.ii Filtros prensa de placas y marcos
 - b.iii Filtros prensa de placas y marcos con placas lavadoras

a) *Filtros de caja.* - Los filtros de caja tienen la ventaja de que todos ellos son portátiles, su estructura es variada, pero en general constan de una caja o carcasa que cubre a una serie de bolsas alargadas que están comunicadas por una tubería común a cuyo través pasa el líquido libre de material sólido.

Funcionan de la siguiente manera: las bolsas son rígidas y están cubiertas con una malla o material filtrante, y están empaquetadas en serie dentro de la caja, entonces el líquido turbio se hace pasar por un extremo de la caja y se le obliga a que pase por el interior ésta, donde en la superficie de cada bolsa se va depositando el material sólido permitiendo al líquido escurrir por el interior de la misma y pasar a la siguiente, aumentando su volumen y recogiendo por el fondo de la caja.

Una vez saturada la caja con material sólido se detiene la operación, se abre la caja y se retira el material sólido.

Como puede verse este filtro opera de manera intermitente y se usa principalmente cuando los precipitados filtran mal y es necesario emplear presión. Es conveniente usar este tipo de filtros cuando se tienen líquidos volátiles que no se pueden perder o cuando se tiene una gran concentración del sólido en el fluido.

Ahora pasemos a los filtros prensa los cuales son motivo del tema central del presente trabajo donde el objetivo fundamental es llegar a encontrar el factor de Carman que permita hacer la escalación de filtros de un área determinada

a filtros de mayor área. Donde el alumno que la consulte más aún, la estudie, conocerá los factores físicos, las ecuaciones y procedimientos para lograr el objetivo preestablecido que es el de poder escalar filtros prensa y obtener resultados favorables para conseguir un filtrado en las condiciones requeridas usando el equipo del cual se disponga.

Como ya se mencionó se cuenta con tres tipos de filtros prensa:

Filtros prensa de cámaras. - Los filtros prensa de cámaras están constituidos por placas, provistas con círculos concéntricos en relieve, entre cada placa se coloca un paño que es la que retiene el producto sólido.

El líquido se bombea hacia estas placas, las cuales están siendo presionadas con un tornillo que ejerce presión mediante un bastago. Para bombear el líquido no deben usarse bombas pulsantes porque estas apelmazan el producto.

El filtrado es desalojado por unos canales interiores con que cuenta cada placa.

Para su limpieza se hace pasar agua limpia, siguiendo después una corriente de aire a presión. Posteriormente se desmontan las placas y se retira de la malla una torta de presipitado. Se lavan las placas y las mallas, se arma nuevamente el equipo y está listo para trabajar nuevamente.

Filtros prensa de placa y marcos. - Los filtros prensa de placas y marcos están constituidos también por placas con círculos concéntricos en relieve y un canal de escurrimiento. Tienen paños de retención como los anteriores, pero estos además están provistos con marcos que se colocan entre placas y mallas. Los filtros que trabajan con marcos tienen la ventaja de que aumentan el volumen en el que se puede alojar la torta de precipitado aumentando de esta manera la eficiencia de cada ciclo de trabajo.

En el momento de la limpieza, la presión del líquido filtrante no es homogénea lo que trae como consecuencia una desventaja y es que la limpieza es poco uniforme y entonces no es frecuente usar este tipo de filtros cuando es muy importante recuperar el precipitado .

Filtros prensa de placas y marcos con placas lavadoras. - Finalmente pasemos a los filtros prensa con marcos y placas lavadoras los cuales además de tener las ventajas de los dos anteriores, cuenta con unas placas lavadoras que distribuyen de manera homogénea el líquido de lavado sobre toda el área de trabajo.

Su operación es similar a la de los filtros prensa de placas y filtros prensa de placas y marcos, con la única variante de que para su limpieza no es necesario desmontar el equipo para lavarlo, sino que basta con cerrar la salida del filtrado y abrir la parte inferior de la placa de lavado, para desalojar la torta disuelta en el líquido lavador.

Como puede observarse este tipo de filtro es muy útil

cuando lo realmente importante es el filtrado y ninguna importancia tiene el precipitado, pues este es removido con un líquido de lavado haciendo nuevamente una mezcla sólido-líquido, en la cual no se puede recuperar el sólido sino por otra filtración y entonces esta no habría tenido ningún sentido.

FILTRO AYUDA

Existen reacciones, por nosotros conocidas, las cuales se realizan de manera muy lenta o de forma muy ineficiente. También las hay de las que se realizan de forma muy rápida. Para controlar este tipo de reacciones los químicos contamos con los catalizadores, sustancias que no intervienen en las reacciones como reactivos, esto es, que antes de la reacción presentan una serie de características físicas y químicas y que cuando la reacción ha finalizado este agente sigue presentando aquellas características físicas y químicas pero al estar presente en el medio en que se realiza la reacción se lleva a cabo tan rápido o tan lento como el químico lo necesite.

De la misma manera que existen catalizadores que controlan una reacción también existen agentes que ayudan a que una filtración se realice de forma más eficiente y rápida.

Los precipitados que son de forma granular y que no se apelmazan en la malla por el efecto de la presión son fácilmente filtrables. Pero aquellos que tienen carácter gelatinoso, coloidal, bloquean fácilmente los poros de la malla y se apelmazan con el efecto de la presión impidiendo que se realice de manera satisfactoria la filtración. Es por esto que deben ser usadas sustancias que ayuden a evitar este apelmazamiento, estos son los agentes que denominamos *coadyuvantes*, estos son materiales granulares con gran resistencia mecánica con el fin de que puedan soportar las presiones de filtración. Su peso específico aparente no debe variar al comprimirlos.

Las filtraciones se llevan a cabo de manera más fácil a través de los lechos de sustancias de gran energía superficial específica pues su porocidad es mayor que en lechos de partículas con poca energía superficial específica.

Esta energía superficial alta les permite a estas partículas unirse en forma puntual y no separarse de manera fácil por lo que no pierden su estructura inicial al elevar la presión sobre ellos, hecho que impide que se apelmacen. Además teniendo gran energía superficial aseguramos que retendrán el material suspendido en el seno del fluido.

Los criterios para el uso adecuado de los coadyuvantes son en esencia dos y se basan en el objetivo final de la filtración:

- a) Si el objetivo principal es el filtrado y ninguna

importancia tiene el precipitado, entonces el coadyuvante debe ser agregado directamente al líquido problema. Aquí cabe la pregunta antes de si ¿no es necesario recuperar el coadyuvante? y ¿cual sería la forma más fácil de hacerlo?

b) Si el objetivo principal es el precipitado, no debemos contaminarlo con coadyuvante, entonces el agente se deposita previamente en la malla filtrante, lo cual se logra haciendo pasar una mezcla de líquido-coadyuvante a través del filtro.

En la industria de la filtración el filtro ayuda nunca se recupera pues es mas económico usar nuevo que lavar el usado.

El coadyuvante más usado son las tierras diatomeas, constituido por infinidad de esqueletos silíceos de pequeñisimos animales marinos. Tienen aspecto de tierra blanca, es frecuente tratar estas tierras antes de usarlas, con ácidos diluidos con el fin de adecuar el pH; en México no se lava pues tiene el pH adecuado, pero puede hacerse para casos muy específicos.

Se usan también como coadyuvantes:

-Vidrio molido.

-Perlas minerales de origen volcanico.

-Diatomitps.

-Fibras de celulosa de origen vegetal.

La mejor de ellas es el vidio molido.

Existen varias teorías que pretenden explicar el comportamiento matemático de los filtros, tomando en cuenta los diferentes factores que afectan a la filtración. En este trabajo estudiaremos a los filtros apoyándonos en la teoría de Carman, haciendo un estudio de los parámetros que toma en consideración.

CAPITULO II

ANALISIS DE LA TEORIA DE

CARMAN

Y PARTE EXPERIMENTAL

ANALISIS DE LA TEORIA DE CARMAN

Dos leyes son las que introduce Carman en su analisis de filtración, una de ellas es la ley de Fourier, la cual indica que el flujo, cualquiera que sea, es directamente proporcional al potencial que hace que ese fluido se mueva e inversamente proporcional a la resistencia o conjunto de resistencias que impiden que el fluido se desplace libremente, de este modo tenemos que la velocidad de filtración es directamente proporcional a la presión de descarga de la bomba que usamos para impulsar el fluido e inversamente proporcional al conjunto de resistencias que impiden el libre paso del fluido:

a) La resistencia que ofrece el soporte del medio filtrante.

b) La resistencia que ofrece el solido cuando se forma la torta.

La primera de las resistencias que considera es constante porque está desde el principio y no se modifica en el tiempo, sin embargo la resistencia que ofrece la torta aumenta con el tiempo de filtración pues su espesor aumenta en función del tiempo y a la concentración del soluto en el liquido problema. Así tenemos matemáticamente la expresión principal de velocidad de filtración ($dV/d\theta$) en terminos de potencial (presión) y de resistencia de la siguiente forma:

$$\frac{dV}{d\theta} = - \frac{dP}{\Sigma R} \dots\dots\dots (i)$$

En la que

R=Resistencia total.

V=Volumen de filtrado.

θ =Tiempo.

$$dP = \Delta P = P_2 - P_1$$

Con P_2 igual a la presión de succión de la bomba y P_1 igual a la presión de descarga, y como la presión de succión de la bomba P_2 es igual a la presión de descarga del filtro e igual a la presión atmosférica entonces:

$$\Delta P = (P_2 - P_1) - P_{atm.}$$

$$\Delta P = -P_1$$

Y entonces la ecuación (i) queda de la siguiente forma:

$$\frac{dV}{d\theta} = - \frac{P}{\Sigma R} \dots\dots\dots (i)$$

La segunda de las leyes que Carman toma en consideración para su estudio de filtración es la ley de Hagen-Poiseuille que hace referencia a los parametros que deben tomarse en cuenta para estudiar las resistencias para lo cual denominaremos R_1 a la resistencia que ofrece la torta al filtrado y R_2 a la resistencia que ofrece la malla filtrante y entonces:

$$R_1 = \alpha_0 \mu \frac{L}{A} \dots\dots\dots (2)$$

$$R_2 = \beta_0 \mu \frac{L_0}{A} \dots \dots \dots (3)$$

Donde L y L₀ son los espesores de la torta y del medio filtrante respectivamente; A es la superficie de filtración; μ es la viscosidad del filtrado; α₀ y β₀ son constantes de proporcionalidad cuyas unidades se definen a continuación:

$$\alpha_0 [=] \frac{h^2}{Kg} \qquad \beta_0 [=] \frac{h^2}{m^2}$$

Carman indica que las únicas condiciones son: *una* que el flujo de filtrado debe ser continuo y *dos* el paso del filtrado es a régimen laminar.

El espesor de la torta es evaluado por unidad de área de la siguiente forma:

$$L = k \frac{W}{A} \dots \dots \dots (4)$$

y si tenemos en cuenta que el espesor de la malla es constante (L₀=constante) y β₀ es una constante entonces su producto es también una constante:

$$L_0 \beta_0 = Cte.$$

y entonces las resistencias las podemos expresar como:

$$R_1 = \alpha \mu \frac{W}{A} \dots \dots \dots (5)$$

$$R_2 = \beta \frac{\mu}{A} \dots\dots\dots (6)$$

Desarrollando la ecuación (1) tenemos:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots (7)$$

Ahora sustituimos en (7) los valores de R_1 y R_2 en términos de: α , β , μ , W y A tenemos:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{P}{\frac{\mu\alpha W}{A^2} + \frac{\mu\beta}{A}} \dots\dots\dots (8)$$

arreglando la ecuación tenemos:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{PA^2}{\mu\alpha W + \mu\beta A} \dots\dots\dots (9)$$

Esta es la ecuación de Carman referida a peso de precipitado seco y ω =(masa de precipitado/volumen de filtrado) entonces podemos sustituir W por ωV y tomando el inverso de la ecuación de Carman tenemos:

$$\frac{d\theta}{dV} = \frac{\mu\alpha\omega V + \mu\beta A}{PA^2} \dots\dots\dots (10)$$

separando la suma:

$$\frac{d\theta}{dV} = \frac{\mu\omega V}{PA^2} + \frac{\mu\beta A}{PA^2} \dots\dots\dots (11)$$

separamos variables e integramos tomando como límites para
 $\theta=0$ $V=0$

$$\int d\theta = \frac{\mu\omega}{PA^2} \int V dV + \frac{\mu\beta}{PA} \int dV \dots\dots\dots (12)$$

$$\theta = \frac{\mu\omega}{2PA^2} V^2 + \frac{\mu\beta}{PA} V \dots\dots\dots (13)$$

dividiendo por V tenemos:

$$\frac{\theta}{V} = \frac{\mu\omega}{2PA^2} V + \frac{\mu\beta}{PA} \dots\dots\dots (14)$$

Ahora haremos un analisis del proceso de filtración mediante la ecuación de Carman.

En primer lugar analizaremos como influye el espesor de la torta en el dimensionamiento del área de filtración. Cuando el sólido esta ingresando a la malla, suponemos que este lo hace de manera homogénea en la superficie total de esta. Si esto es cierto y la velocidad con que está llegando filtrado a depositarse es constante entonces cuando tengamos áreas pequeñas la torta aumentará su espesor de manera mas rápida que si tubieramos un área mayor, y si hacemos crecer más el área de filtración, entonces la torta

tardará más tiempo en engrosarse, esto lo justificamos cuando dijimos que el área es inversamente proporcional al espesor de la torta y directamente proporcional a la cantidad de sólidos que se deposita en la malla.

Ahora bien pensemos en el tiempo de filtración; cuando la torta sea más gruesa ofrecerá mayor resistencia que cuando no lo sea tanto, esto es que cuando sea más delgada la resistencia ofrecida también será menor. Y esto repercute directamente con el tiempo de filtración pues manteniendo la presión constante, a mayor resistencia mayor tiempo de filtración y a menor resistencia, menor tiempo de filtración.

Este análisis nos hace pensar que un buen filtro es el que cuenta con una área de trabajo mayor, esto es que los filtros prensa más grandes son los mejores pero no es así pues un filtro de tamaño muy grande es difícil de operar, pues es muy difícil de retirar tortas muy delgadas de mallas muy grandes. Además los filtros prensa aumentan mucho en su costo tanto fijo como de operación al incrementarse sus dimensiones. Por todo lo anterior debe hacerse llegar a un equilibrio el tamaño (área de filtración) del filtro y las necesidades requeridas de filtración. Normalmente lo que se hace es crear filtros con varias unidades de filtración, las cuales nos proporcionan las áreas necesarias que se adapten a las necesidades de trabajo.

Análisis de la concentración de la solución, la temperatura y la viscosidad:

La preconcentración de los líquidos turbios resulta

ventajosa ya que es un hecho experimental que cuanto mayor es la velocidad de formación de la torta, la resistencia específica de esta es mayor, esto nos lleva a la conclusión de que cuando la resistencia disminuye la velocidad aumenta. La temperatura es directamente proporcional a la velocidad de filtración y la viscosidad es inversamente proporcional a esta, veamos como es esto: si el líquido tiene una viscosidad alta su velocidad de flujo será menor que si la viscosidad es menor. Pero si se aumenta la temperatura abatimos la viscosidad del líquido madre y por lo tanto se favorece la velocidad de filtración.

PARTE EXPERIMENTAL

MATERIAL Y SUBSTANCIAS

10 Kg DE CARBONATO DE CALCIO

40 LITROS DE AGUA

1 FILTRO PRENSA EQUIPADO CON DOS BOMBAS CENTRIFUGAS.

1 AGITADOR MAGNETICO CON CAPSULA

1 MATRAZ DE BOLA DE TRES LITROS

4 MANGUERAS LATEX

1 DESARMADOR PLANO

1 SOPORTE UNIVERSAL

2 PINZAS DE TRES DEDOS

1 CRONOMETRO

1 CUBETA

6 MALLAS FILTRANTES

1 PROBETA DE DOS LITROS

1 EXTENSION ELECTRICA

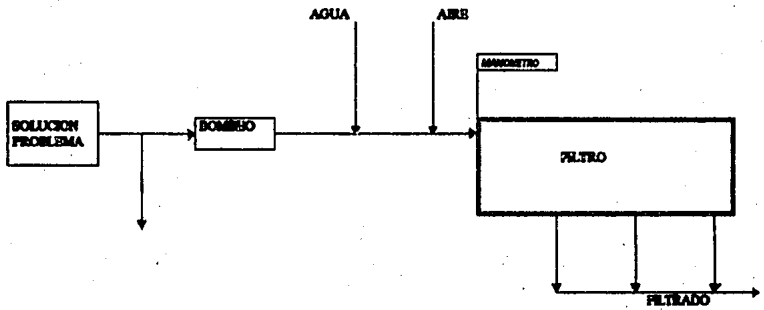
1 BALANZA GRANATARIA

1 BALANZA DE HUMEDADES

1 ESPATULA

1 BASTAGO DE HIERRO

**DIAGRAMA DE FLUJO
DEL EQUIPO DE FILTRACION**



La escalación de Area se realizará en un mismo filtro lo que se consigue fácilmente eliminando al filtro de dos unidades de filtración y dejando solo una unidad montada en el equipo.

Con ayuda del desarmador plano se aflojan las abrasaderas que fijan las mangueras de cada una de las salidas de las respectivas unidades. Se desmontan dos placas con sus respectivos marcos, enseguida se colocan dos mangueras latex a la salida de la placa fija y a la salida de la placa móvil que ejerce presión por el exterior del filtro, se colocan dos mallas de filtración una frente a cada placa y entre ellas se coloca un marco; con esto tenemos armada una unidad de filtración, colocar el bastago metálico entre la placa móvil y el tornillo sujeto a la manivela que ejerce presión. Girar la manivela hacia la derecha hasta dejar fija y sin fugas la unidad de filtración.

Enseguida se pone en línea el sistema, cerrando las valvulas que alimentan agua de la línea principal y las de aire y se abren las que ponen las bombas en serie cuya succión es la manguera que inicia en el matraz de bola y cuya descarga desenvoca en el filtro prensa.

Colocanse las mangueras que salen del filtro en una probeta de dos litros.

Por otro lado preparamos dos litros de solución de concentración conocida de carbonato de calcio en una cubeta y la vertimos en el matraz de bola el cual colocamos sobre la

parrilla con agitación magnética y lo fijamos con una varilla de soporte universal y dos pinzas de tres dedos; activar el agitador magnético y asegurarse de que la solución tenga la agitación necesaria para mantenerla homogénea; introducir la manguera que conduce a la succión de las bombas y revisar nuevamente que no exista variación en la agitación.

Ahora se ponen en función las dos bombas simultáneamente junto con el cronómetro y se fija la presión en el sistema con ayuda de las válvulas de alimentación, tomar datos de volumen de filtrado y tiempo; es preciso estar alerta de que la solución no se agote en el matraz para que no entre aire en las bombas.

Una vez desactivadas las bombas cierre la válvula de la descarga de estas y abra las que conducen aire, fijando una presión en el filtro de 3 Kgr/Cm^2 durante 20 minutos, al final de los 20 minutos y seca ya la torta cierre las válvulas de aire y afloje las placas junto con el marco, sacar placas y marcos de una sola vez, pesar la torta obtenida completa, con el uso de la balanza de humedades tomar la humedad de una muestra de aproximadamente 10 gramos para lo cual debe dejarse la muestra durante 15 minutos a 7.5 Watts de nivel de secado.

Repetir esta operación manteniendo una sola unidad de filtración y la concentración de soluto pero ahora variar la presión desde 1.5, 2 y 2.5 Kgr/Cm^2 de presión en cada corrida. Posteriormente mantener fija la presión y el número

de unidades pero variando la concentración de la solución.

Una vez hechas estas corridas procedemos a montar una unidad más de filtración y repetir las corridas en las diferentes presiones y concentraciones hechas para una sola unidad y repetirlo para tres unidades de filtración, registrando siempre datos de volumen de filtrado a diferentes tiempos, lo que se hizo en la práctica fué tomar tiempo cada 100 ml de filtrado. Con los datos se calcula V/θ y se gráfica V/θ vs V , se realiza una regresión lineal obteniendo una pendiente y una ordenada al origen datos con los cuales se calculan α y β respectivamente.

$$\alpha = \frac{2mPA^2}{\mu\omega} \quad ; \quad \beta = \frac{bPA}{\mu}$$

m=pendiente y b=ordenada al origen

Con estas constantes para condiciones dadas de presión y concentración y el área modificada (tomando en consideración que se agregó una unidad más de filtración) y con la ecuación:

$$\theta = \frac{\mu\alpha\omega}{2PA^2} V^2 + \frac{\mu\beta}{PA} V$$

alimentamos datos de volumen de filtrado y obtenemos datos de θ dado que conocemos μ , α , β , ω , P y A . Los datos de θ obtenidos con la ecuación anterior los comparamos con los obtenidos durante el desarrollo de la práctica y se hace una evaluación de que tan aceptables son los datos obtenidos con formula con respecto a los datos obtenidos de forma real en el aparato de filtración.

MEMORIA DE CALCULO

MEMORIA DE CALCULO PARA LA PRIMERA CORRIDA

De la regresión lineal obtenemos la pendiente (m) y la ordenada al origen (b); además conocemos la presión, el Área, la viscosidad y la concentración específica, valores que usamos para calcular las constantes α y β , para posteriormente calcular el tiempo como función del volumen:

$$m = (18.6149 \text{ seg}/l^2) (1 \text{ h}/3 \text{ 600seg}) (10^3 l/m^3) = 5 \text{ 170.8055 h}/m^3$$

$$b = (86.0979 \text{ seg}/l) (1 \text{ h}/3 \text{ 600seg}) (1000 \text{ l}/m^3) = 23.9160 \text{ h}/m^3$$

$$P = 15 \text{ 000 Kg}/m^2$$

$$A = 0.02242 \text{ m}^2$$

$$A^2 = 0.5026 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\mu = 3.6 \text{ Kg}/m \text{ h}$$

$$\omega = 25.78125 \text{ Kg}/m^3$$

FORMULAS:

$$\alpha = \frac{2 m P A^2}{\mu \omega}$$

$$\beta = \frac{b P A}{\mu}$$

SUSTITUCION:

$$\alpha = \frac{2(5170.8055)(15 \text{ 000})(0.5026 \times 10^{-3})}{(3.6)(25.7812)} = 840.125$$

UNIDADES:

$$\alpha = \frac{(h/m^3)(Kg/m^2)(m^4)}{(Kg/m \text{ h})(Kg/m^3)} = h^2/Kg$$

$$\beta = \frac{(23.916)(15\ 000)(0.02242)}{3.6} = 2\ 234.161$$

UNIDADES:

$$\beta = \frac{(h/m^3)(Kgf/m^2)(m^2)}{(Kgf/m\ h)} = h^2/m^2$$

Con estos valores de α y β calculamos el tiempo θ para cada volumen de filtrado segun la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{\mu \alpha \omega}{2 P A^2} V^2 + \frac{\mu \beta}{P A} V$$

$$\theta = \frac{(3.6)(840.125)(25.7812)}{2(15\ 000)(0.5026 \times 10^{-8})} (1 \times 10^{-8})^2 + \frac{(3.6)(2\ 234.16)}{(15\ 000)(0.02242)} (1 \times 10^{-4}) =$$

$$\theta = 5.1708 \times 10^{-5} + 2.3916 \times 10^{-2} = 0.002443$$

UNIDADES:

$$\theta = \frac{(Kgf/m\ h)(h^2/Kg)(Kg/m^3)}{(Kgf/m^2)(m^4)} (m^8) + \frac{(Kgf/m\ h)(h^2/m^2)}{(Kgf/m^2)(m^3)} (m^3) = h$$

CONVERSION DE HORAS A SEGUNDOS:

$$\theta = (0.002443h)(3\ 600s/1h) = 8.8\ s$$

y por último comparamos con el tiempo real que son 8 segundos.

CAPITULO III

RESULTADOS EXPERIMENTALES

CONCENTRACION= 200 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESION=	15000 (Kgf/m²)
VISCOSIDAD=	3.6 (Kgf/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.03867 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015 (m³)
NUMERO DE UNIDADES=	1 UNIDAD
AREA TOTAL=	0.02242 (m²)
w=	25.78125 (Kg/m³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	8	80.0000
0.2	18	90.0000
0.3	29	96.6667
0.4	38	95.0000
0.5	48	96.0000
0.6	60	100.0000
0.7	70	100.0000
0.8	80	100.0000
0.9	95	105.5556
1	103	103.0000
1.1	117	106.3636
1.2	129	107.5000
1.3	143	110.0000
1.4	156	111.4286
1.5	170	113.3333

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	86.09791108
PENDIENTE=	18.61492476

ALFA=840 h²/Kg
BETA=2 234 h²/m²

CONCENTRACION = 200 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESION =	15000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD =	3.6 (Kg/m b)
MASA DE LA TORTA =	0.03867 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO =	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES =	2 UNIDADES
AREA TOTAL =	0.04484 (m ²)
w =	25.78125 (Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	4	40.0000
0.2	9	45.0000
0.3	14	46.6667
0.4	18	45.0000
0.5	23	46.0000
0.6	27	45.0000
0.7	31	44.2857
0.8	36	45.0000
0.9	42	46.6667
1	48	48.0000
1.1	51	46.3636
1.2	58	48.3333
1.3	64	49.2308
1.4	70	50.0000
1.5	75	50.0000

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE =	42.49476555
PENDIENTE =	4.843715272

ALFA = 874 h²/Kg
 BETA = 2 205 h²/m²

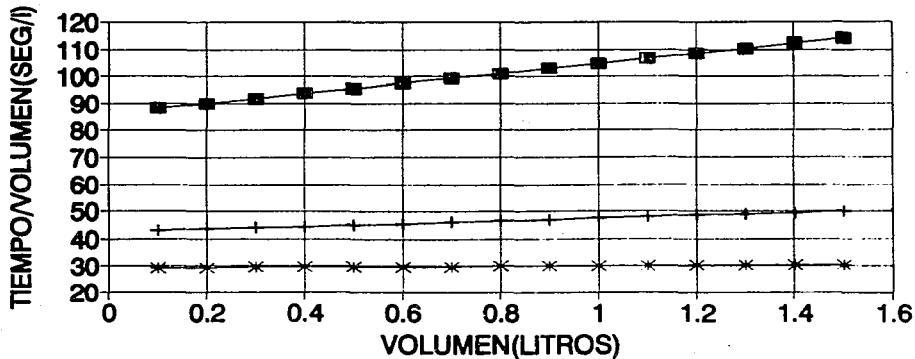
CONCENTRACION = 200 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESSION =	15000 (Kgf/m ²)
VISCOSIDAD =	3.65 (Kgf/m h)
MASA DE LA TORTA =	0.014035 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO =	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES =	3 UNIDADES
AREA TOTAL =	0.06726 (m ²)
w =	9.356666667 (Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	3	30.0000
0.2	6	30.0000
0.3	9	30.0000
0.4	11	27.5000
0.5	14	28.0000
0.6	18	30.0000
0.7	21	30.0000
0.8	24	30.0000
0.9	27	30.0000
1	30	30.0000
1.1	32	29.0909
1.2	36	30.0000
1.3	40	30.7692
1.4	43	30.7143
1.5	45	30.0000

	REGRESION LINEAL:
CONSTANTE =	29.12673517
PENDIENTE =	0.764449636

ALFA = 843 h²/Kg
 BETA = 2 236 h²/m²

CONC.=200g/2 000ml
P=15 000 Kgf/m2



ALFA=852 h2/Kg

BETA=2225 h2/m2

■ UNA UNIDAD

+ DOS UNIDADES

* TRES UNIDADES

CONCENTRACION= 200g/2 000ml
 PRESTION= 15 000 Kgf/m2

VOLUMEN (LITROS)	TIEMPO (SEGUNDOS)					
	UNA UNIDAD		DOS UNIDADES		TRES UNIDADES	
	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO
0.1	8	8.78	4	4.35	3	2.88
0.2	18	17.84	8	8.79	6	5.79
0.3	29	27.48	14	13.33	9	8.72
0.4	38	37.38	18	17.86	11	11.69
0.5	48	47.66	23	22.88	14	14.68
0.6	60	58.31	27	27.51	18	17.71
0.7	70	69.33	31	32.41	21	20.75
0.8	80	80.72	36	37.41	24	23.82
0.9	95	92.48	42	42.51	27	26.83
1	103	104.63	48	47.51	30	30.06
1.1	117	117.14	51	52.98	32	33.22
1.2	129	130.02	58	58.35	36	36.41
1.3	143	143.28	64	63.82	40	39.62
1.4	156	156.91	70	69.38	43	42.86
1.5	170	170.91	75	75.04	45	48.13

CONCENTRACION= 200 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION		
PRESION=	25000	(Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	4.0365	(Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.0502365	(Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015	(m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	1	UNIDAD
AREA TOTAL=	0.02244	(m ²)
w=	33.4910	(Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	7	70.0000
0.2	14	70.0000
0.3	22	73.3333
0.4	47	117.5000
0.5	79	158.0000
0.6	101	168.3333
0.7	133	190.0000
0.8	160	200.0000
0.9	190	211.1111
1	223	223.0000
1.1	257	233.6364
1.2	302	251.6667
1.3	334	256.9231
1.4	365	260.7143
1.5	397	264.6667

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	59.8612377
PENDIENTE=	154.2471893

ALFA= 7 979 h²/Kg
 BETA= 2 311 h²/m²

CONCENTRACION= 200 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESIÓN=	25000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	3.95412 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.05264 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	2 UNIDADES
AREA TOTAL=	0.04484 (m ²)
w=	35.09333333 (Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	3	30.0000
0.2	7	35.0000
0.3	12	40.0000
0.4	18	45.0000
0.5	24	48.0000
0.6	33	55.0000
0.7	40	57.1429
0.8	48	60.0000
0.9	55	61.1111
1	72	72.0000
1.1	80	72.7273
1.2	93	77.5000
1.3	108	83.0769
1.4	117	83.5714
1.5	126	84.0000

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	28.07635592
PENDIENTE=	40.24868782

ALFA= 8 099 h²/Kg

BETA= 2 211 h²/m²

CONCENTRACION= 200 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PREISION=	25000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	3.98542 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.051246 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	3 UNIDADES
AREA TOTAL=	0.06726 (m ²)
w=	34.1640 (Kg/m ³)

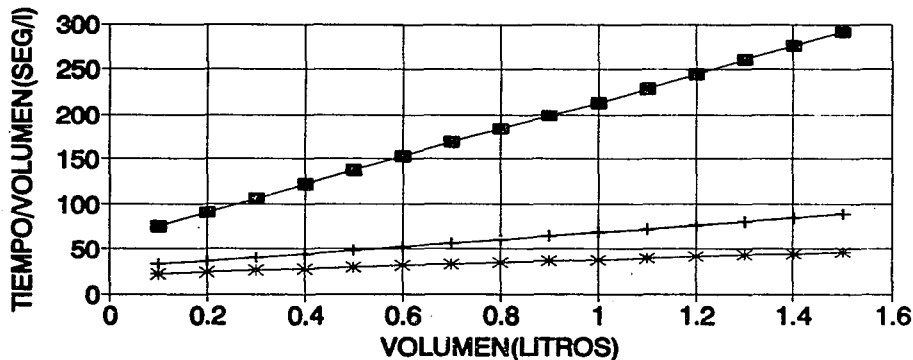
VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	2	20.0000
0.2	5	25.0000
0.3	7.5	25.0000
0.4	11	27.5000
0.5	14	28.0000
0.6	18	30.0000
0.7	23	32.8571
0.8	26	32.5000
0.9	32	35.5556
1	37	37.0000
1.1	42	38.1818
1.2	49	40.8333
1.3	55	42.3077
1.4	62	44.2857
1.5	70	46.6667

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	19.72691066
PENDIENTE=	17.48202195

ALFA= 8 067 h²/Kg

BETA= 2 311 h²/m²

CONC. = 200g/2 000ml
P = 25 000 Kg/m²



ALFA = 8048 h²/Kg

BETA = 2277 h²/Kg²

—■— UNA UNIDAD —+— DOS UNIDADES —*— TRES UNIDADES

CONCENTRACION= 200g/2 000ml
 PRESION= 25 000 Kgf/m²

VOLUMEN (LITROS)	TIEMPO (SEGUNDOS)					
	UNA UNIDAD		DOS UNIDADES		TRES UNIDADES	
	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO
0.1	7	7.52	3	3.37	2	2.16
0.2	14	18.14	7	7.52	5	4.67
0.3	22	31.84	12	12.44	7.5	7.52
0.4	47	48.62	18	18.14	11	10.72
0.5	79	68.49	24	24.61	14	14.26
0.6	101	91.44	33	31.84	18	18.14
0.7	133	117.40	40	39.84	23	22.36
0.8	180	146.61	48	48.62	26	26.93
0.9	180	178.61	55	58.17	32	31.84
1	223	214.11	72	68.49	37	37.06
1.1	257	252.48	80	79.58	42	42.63
1.2	302	293.94	93	91.44	49	48.62
1.3	334	338.49	106	104.07	55	54.91
1.4	365	386.13	117	117.48	62	61.52
1.5	397	436.84	126	131.66	70	68.49

CONCENTRACION= 200 g DE SOLUTO / 2000 ml DE SOLUCION	
PRESSION=	20000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	3.5 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.03654 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	1 UNIDAD
AREA TOTAL=	0.02242 (m ²)
w=	24.36 (Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	4	40.0000
0.2	9	45.0000
0.3	13	43.3333
0.4	18	45.0000
0.5	23	46.0000
0.6	27	45.0000
0.7	32	45.7143
0.8	37	46.2500
0.9	43	47.7778
1	48	48.0000
1.1	53	48.1818
1.2	59	49.1667
1.3	64	49.2308
1.4	70	50.0000
1.5	76	50.6667

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	41.89486519
PENDIENTE=	5.90819498

ALFA= 387 h²/Kg
 BETA= 1490 h²/m²

CONCENTRACION = 200 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESION =	20900 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD =	3.5 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA =	0.03702 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO =	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES =	2 UNIDADES
AREA TOTAL =	0.04484 (m ²)
w =	24.68 (Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	2	20.0000
0.2	4	20.0000
0.3	6	20.0000
0.4	9	22.5000
0.5	11	22.0000
0.6	13	21.6667
0.7	15	21.4286
0.8	18	22.5000
0.9	20	22.2222
1	22	22.0000
1.1	25	22.7273
1.2	27	22.5000
1.3	30	23.0769
1.4	32	22.8571
1.5	34	22.6667

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE =	20.30961367
PENDIENTE =	1.958438387

ALFA = 506 h²/Kg
 BETA = 1 445 h²/m²

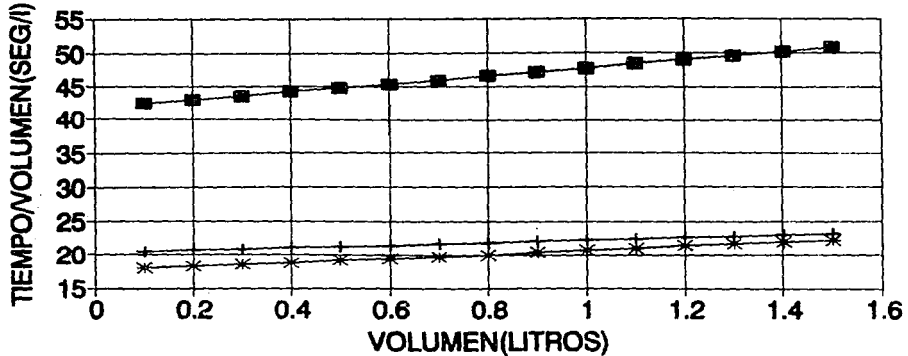
CONCENTRACION= 200 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCIÓN	
PRESION=	20000 (Kg/m²)
VISCOSIDAD=	4.5 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.063214 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015 (m³)
NUMERO DE UNIDADES=	3 UNIDADES
AREA TOTAL=	0.06726 (m²)
w=	43.476 (Kg/m³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	3	30.0000
0.2	4	20.0090
0.3	6	20.0000
0.4	7	17.5000
0.5	9	18.0000
0.6	10	16.6667
0.7	11	15.7143
0.8	13	16.2500
0.9	15	16.6667
1	16	16.0000
1.1	18	16.3636
1.2	19	15.8333
1.3	21	16.1538
1.4	22	15.7143
1.5	76	50.6667

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	17.59439053
PENDIENTE=	3.134460777

ALFA= 805 h²/Kg
BETA= 1 460 h²/m²

CONC. = 200g/2 000ml
P = 20 000 Kgf/m²



ALFA = 566 h²/Kg

BETA = 1466 h²/m²

■ UNA UNIDAD + DOS UNIDADES * TRES UNIDADES

CONCENTRACION= 200g/2 000ml
 PRESION= 20 000 Kgf/m²

VOLUMEN (LITROS)	TIEMPO (SEGUNDOS)					
	UNA UNIDAD		DOS UNIDADES		TRES UNIDADES	
	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO
0.1	4	4.24	2	2.11	3	1.41
0.2	9	8.61	4	4.24	4	2.81
0.3	13	13.11	6	6.41	6	4.24
0.4	18	17.71	9	8.61	7	5.00
0.5	23	22.42	11	10.84	9	7.14
0.6	27	27.26	13	13.11	10	8.61
0.7	32	32.22	15	15.38	11	10.00
0.8	37	37.31	18	17.71	13	11.50
0.9	43	42.49	20	20.04	15	13.11
1	48	47.61	22	22.04	18	14.62
1.1	53	53.24	25	24.82	18	16.15
1.2	59	58.79	27	27.26	19	17.71
1.3	64	64.46	30	29.72	21	19.26
1.4	70	70.25	32	32.22	22	20.83
1.5	76	76.15	34	34.74	26	22.42

CONCENTRACION= 300 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESION=	15000 (Kg/m²)
VISCOSIDAD=	4.1 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.04167 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015 (m³)
NUMERO DE UNIDADES=	1 UNIDAD
AREA TOTAL=	0.02242 (m²)
w=	27.78 (Kg/m³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	9	90.0000
0.2	18	90.0000
0.3	30	100.0000
0.4	39	97.5000
0.5	49	98.0000
0.6	61	101.6667
0.7	71	101.4286
0.8	81	101.2500
0.9	97	107.7778
1	105	105.0000
1.1	119	108.1818
1.2	131	109.1667
1.3	145	111.5385
1.4	159	113.5714
1.5	173	115.3333

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	90.02720428
PENDIENTE=	16.66722167

ALFA= 612 h²/Kg
BETA= 2 051 h²/m²

CONCENTRACION= 300 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION		
PRESION=	15000	(Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	5.0235	(Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.04563	(Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015	(m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	2	UNIDADES
AREA TOTAL=	0.04484	(m ²)
w=	30.42000	(Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	5	50.0000
0.2	10	50.0000
0.3	15	50.0000
0.4	18	45.0000
0.5	23	46.0000
0.6	29	48.3333
0.7	33	47.1429
0.8	37	46.2500
0.9	42	46.6667
1	49	49.0000
1.1	56	50.9091
1.2	64	53.3333
1.3	71	54.6154
1.4	77	55.0000
1.5	81	54.0000

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	46.03591091
PENDIENTE=	4.642666857

ALFA = 509 h²/Kg
 BETA = 1 712 h²/m²

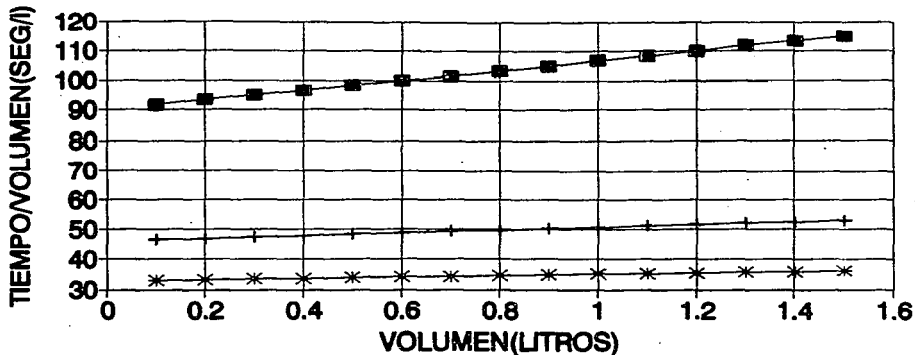
CONCENTRACION = 300 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESION =	15000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD =	4.265 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA =	0.023658 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO =	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES =	3 UNIDADES
AREA TOTAL =	0.06726 (m ²)
w =	15.77200 (Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	4	40.0000
0.2	7	35.0000
0.3	11	36.6667
0.4	12	30.0000
0.5	15	30.0000
0.6	19	31.6667
0.7	23	32.8571
0.8	26	32.5000
0.9	29	32.2222
1	32	32.0000
1.1	37	33.6364
1.2	41	34.1667
1.3	49	37.6923
1.4	56	40.0000
1.5	60	40.0000

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE =	32.76808694
PENDIENTE =	2.240561026

ALFA = 1 255 h²/Kg
 BETA = 2 153 h²/m²

CONC. = 300g/2 000ml
P = 15 000 Kg/m²



ALFA = 792 h²/Kg

BETA = 1972 h²/m²

■ UNA UNIDAD

+ DOS UNIDADES

*** TRES UNIDADES**

CONCENTRACION= 300g/2 000ml
 PRESION= 15 000 Kgf/m²

VOLUMEN (LITROS)	TIEMPO (SEGUNDOS)					
	UNA UNIDAD		DOS UNIDADES		TRES UNIDADES	
	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO
0.1	9	9.16	8	4.54	4	3.08
0.2	18	18.67	10	9.17	7	6.22
0.3	30	28.51	15	13.69	11	9.39
0.4	39	38.68	18	18.68	12	12.61
0.5	49	49.18	23	23.57	15	15.85
0.6	61	60.02	29	28.53	19	19.15
0.7	71	71.21	33	33.58	23	22.49
0.8	81	82.71	37	38.71	26	26.67
0.9	97	94.54	42	43.92	29	29.29
1	105	106.72	49	49.22	32	32.75
1.1	119	119.23	56	54.61	37	36.25
1.2	131	132.07	64	60.07	41	39.79
1.3	145	145.25	71	65.62	49	43.78
1.4	159	158.78	77	71.25	56	47.01
1.5	173	172.61	81	76.97	60	50.67

CONCENTRACION= 300 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESSION=	25000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	4.2365 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.065874 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	1 UNIDAD
AREA TOTAL=	0.02242 (m ²)
w=	43.9160 (Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	8	80.0000
0.2	15	75.0000
0.3	30	100.0000
0.4	49	122.5000
0.5	81	162.0000
0.6	103	171.6667
0.7	135	192.8571
0.8	160	200.0000
0.9	193	214.4444
1	226	226.0000
1.1	261	237.2727
1.2	306	255.0000
1.3	340	261.5385
1.4	368	262.8571
1.5	401	267.3333

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	70.50064274
PENDIENTE=	147.5900232

ALFA= 5 537 h²/Kg

BETA= 2 590 h²/m²

CONCENTRACION= 300 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION		
PRESION=	25000	(Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	4.3652	(Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.07562	(Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015	(m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	2	UNIDADES
AREA TOTAL=	0.04484	(m ²)
w=	50.4133	(Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	5	50.0000
0.2	6	30.0000
0.3	13	43.3333
0.4	19	47.5000
0.5	24	48.0000
0.6	34	56.6667
0.7	42	60.0000
0.8	50	62.5000
0.9	56	62.2222
1	73	73.0000
1.1	84	76.3636
1.2	94	78.3333
1.3	119	91.5385
1.4	128	91.4286
1.5	401	267.3333

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	8.045774331
PENDIENTE=	84.79441194

ALFA= 10 760 h²/Kg

BETA= 573 h²/m²

CONCENTRACION= 300 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESION=	25000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	4.02564 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.058942 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	3 UNIDADES
AREA TOTAL=	0.06726 (m ²)
w=	39.2947 (Kg/m ³)

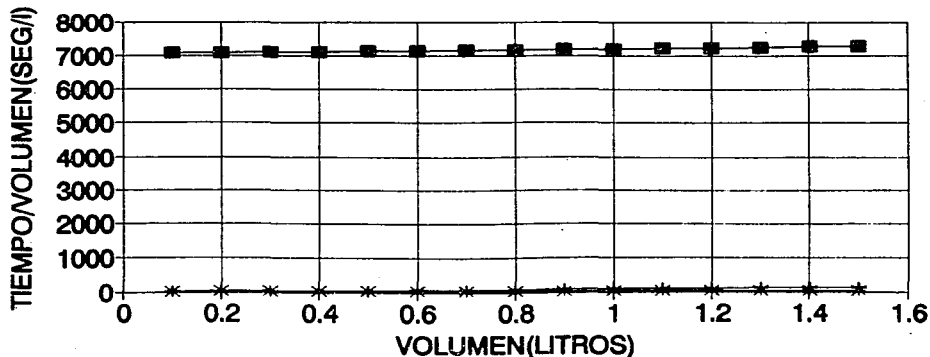
VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	3	30.0000
0.2	6	30.0000
0.3	8	26.6667
0.4	12	30.0000
0.5	16	32.0000
0.6	19	31.6667
0.7	25	35.7143
0.8	28	35.0000
0.9	35	38.8889
1	39	39.0000
1.1	45	40.9091
1.2	51	42.5000
1.3	57	43.8462
1.4	65	46.4286
1.5	73	48.6667

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	25.04663538
PENDIENTE=	14.63228835

ALFA= 5 811 h²/Kg

BETA= 2 906 h²/m²

CONC.=300g/2 000ml
P=25 000 Kgf/m²



ALFA=7370h²/Kg

BETA=2023 h²/m²

■ UNA UNIDAD + DOS UNIDADES * TRES UNIDADES

CONCENTRACION= 300g/2 000ml
 PRESION= 25 000 Kgf/m²

VOLUMEN (LITROS)	TIEMPO (SEGUNDOS)					
	UNA UNIDAD		DOS UNIDADES		TRES UNIDADES	
	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO
0.1	8	8.52	5	3.69	3	0.83
0.2	15	20.01	6	8.52	6	2.28
0.3	30	34.43	13	13.69	8	4.32
0.4	49	51.81	19	20.01	12	6.97
0.5	81	72.14	24	26.64	16	10.23
0.6	103	95.42	34	34.43	19	14.09
0.7	136	121.66	42	42.75	25	18.55
0.8	180	150.85	50	51.81	28	23.62
0.9	183	182.99	56	61.61	35	29.29
1	226	218.08	73	72.14	39	35.57
1.1	261	256.12	84	83.41	45	42.45
1.2	306	297.11	94	95.42	51	49.94
1.3	340	341.06	119	108.17	57	58.02
1.4	368	387.95	128	121.66	65	66.72
1.5	401	437.81	401	135.68	73	78.02

CONCENTRACION= 300 g DE SÓLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION		
PRESION=	20000	(Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	3.7523	(Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.041562	(Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015	(m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	1	UNIDAD
AREA TOTAL=	0.02242	(m ²)
w=	27.708	(Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	5	50.0000
0.2	9	45.0000
0.3	14	46.6667
0.4	20	50.0000
0.5	25	50.0000
0.6	29	48.3333
0.7	33	47.1429
0.8	38	47.5000
0.9	46	51.1111
1	50	50.0000
1.1	56	50.9091
1.2	61	50.8333
1.3	67	51.5385
1.4	73	52.1429
1.5	76	50.6667

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	47.02072108
PENDIENTE=	3.044463473

ALFA= 163 h²/Kg
 BETA= 1 560 h²/m²

CONCENTRACION= 300 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESION=	20000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	3.8752 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.04365 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	2 UNIDADES
AREA TOTAL=	0.04484 (m ²)
w=	29.1 (Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	2	20.0000
0.2	5	25.0000
0.3	7	23.3333
0.4	9	22.5000
0.5	11	22.0000
0.6	15	25.0000
0.7	17	24.2857
0.8	20	25.0000
0.9	22	24.4444
1	24	24.0000
1.1	27	24.5455
1.2	31	25.8333
1.3	35	26.9231
1.4	37	26.4286
1.5	39	26.0000

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	21.84868359
PENDIENTE=	3.130306202

ALFA = 620 h²/Kg
 BETA = 1 404 h²/m²

CONCENTRACION= 300 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESION=	20000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	4.9652 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.085426 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	3 UNIDADES
AREA TOTAL=	0.06726 (m ²)
w=	56.95067 (Kg/m ³)

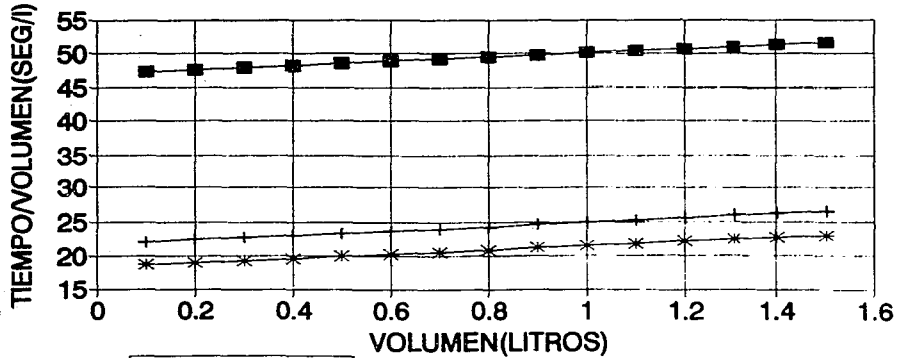
VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	2	20.0000
0.2	3	15.0000
0.3	5	16.6667
0.4	9	22.5000
0.5	11	22.0000
0.6	13	21.6667
0.7	15	21.4286
0.8	17	21.2500
0.9	19	21.1111
1	21	21.0000
1.1	24	21.8182
1.2	27	22.5000
1.3	29	22.3077
1.4	31	22.1429
1.5	34	22.6667

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	18.4362936
PENDIENTE=	3.126167483

ALFA= 555 h²/Kg

BETA= 1387 h²/m²

CONC. = 300g/2 000ml
P = 20 000 Kgf/m²



ALFA = 446 h²/Kg

BETA = 1450 h²/m²

■ UNA UNIDAD + DOS UNIDADES * TRES UNIDADES

CONCENTRACION= 300g/2 000ml
 PRESION= 20 000 Kgf/m2

VOLUMEN (LITROS)	TIEMPO (SEGUNDOS)					
	UNA UNIDAD		DOS UNIDADES		TRES UNIDADES	
	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO
0.1	5	4.73	2	2.35	2	1.47
0.2	9	9.52	5	4.73	3	2.96
0.3	14	14.38	7	7.12	5	4.49
0.4	20	19.29	9	9.52	9	6.04
0.5	25	24.27	11	11.94	11	7.83
0.6	29	29.31	15	14.38	13	9.24
0.7	33	34.41	17	16.83	15	10.87
0.8	38	39.56	20	19.29	17	12.54
0.9	48	44.78	22	21.77	19	14.23
1	50	50.01	24	24.27	21	15.95
1.1	58	55.41	27	26.78	24	17.71
1.2	61	60.81	31	29.31	27	19.48
1.3	67	63.20	35	31.84	29	21.28
1.4	73	71.81	37	34.41	31	23.11
1.5	78	77.39	39	36.97	34	24.87

CONCENTRACION= 400 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION		
PRESION=	15000	(Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	4.35	(Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.05426	(Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015	(m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	1	UNIDAD
AREA TOTAL=	0.02242	(m ²)
w=	36.1733	(Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	5	50.0000
0.2	7	35.0000
0.3	9	30.0000
0.4	19	47.5000
0.5	21	42.0000
0.6	24	40.0000
0.7	27	38.5714
0.8	36	45.0000
0.9	48	53.3333
1	54	54.0000
1.1	60	54.5455
1.2	66	55.0000
1.3	71	54.6154
1.4	75	53.5714
1.5	78	52.0000

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	36.75474208
PENDIENTE=	12.81799153

ALFA= 341 h²/Kg
 BETA= 789 h²/m²

CONCENTRACION = 400 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION		
PRESION =	15000	(Kg/m ²)
VISCOSIDAD =	5.3265	(Kg/m h)
MASA DE LA TORTA =	0.0589652	(Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO =	0.0015	(m ³)
NUMERO DE UNIDADES =	2	UNIDADES
AREA TOTAL =	0.04484	(m ²)
w =	39.31013	(Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	5	50.0000
0.2	9	45.0000
0.3	12	40.0000
0.4	17	42.5000
0.5	19	38.0000
0.6	23	38.3333
0.7	27	38.5714
0.8	31	38.7500
0.9	36	40.0000
1	42	42.0000
1.1	47	42.7273
1.2	53	44.1667
1.3	60	46.1538
1.4	69	49.2857
1.5	78	52.0000

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE =	40.30605823
PENDIENTE =	3.57478236

ALFA = 286 h²/Kg
 BETA = 1 413 h²/m²

CONCENTRACION= 400 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION		
PRESION=	15000	(Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	4.5891	(Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.036524	(Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015	(m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	3	UNIDADES
AREA TOTAL=	0.06726	(m ²)
w=	24.34933	(Kg/m ³)

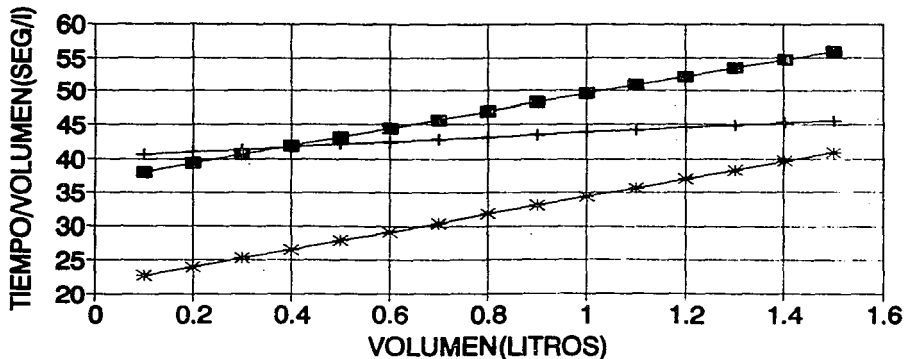
VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	3	30.0000
0.2	5	25.0000
0.3	7	23.3333
0.4	10	25.0000
0.5	13	26.0000
0.6	16	26.6667
0.7	20	28.5714
0.8	24	30.0000
0.9	29	32.2222
1	35	35.0000
1.1	40	36.3636
1.2	42	35.0000
1.3	49	37.6923
1.4	57	40.7143
1.5	68	45.3333

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	21.36965363
PENDIENTE=	13.02936746

ALFA= 4.396 h²/Kg

BETA= 1.305 h²/m²

CONC. = 400g/2 000ml
P = 15 000 Kgf/m²



ALFA = 1674 h²/Kg

BETA = 1169 h²/m²

■ UNA UNIDAD

+ DOS UNIDADES

* TRES UNIDADES

CONCENTRACION= 400g/2 000ml
 PRESION= 15 000 Kgf/m²

VOLUMEN (LITROS)	TIEMPO (SEGUNDOS)					
	UNA UNIDAD		DOS UNIDADES		TRES UNIDADES	
	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO
0.1	5	3.81	5	1.86	3	2.71
0.2	7	7.86	9	3.81	5	5.43
0.3	9	12.18	12	5.81	7	8.21
0.4	19	16.75	17	7.86	10	11.01
0.5	21	21.58	19	9.96	13	13.63
0.6	24	26.67	23	12.18	16	16.49
0.7	27	32.02	27	14.43	20	19.58
0.8	36	37.62	31	16.75	24	22.51
0.9	48	43.48	36	19.13	29	25.47
1	54	49.59	42	21.58	35	28.45
1.1	60	55.96	47	24.09	40	31.48
1.2	66	62.59	53	26.68	42	34.53
1.3	71	69.48	60	29.31	49	37.61
1.4	75	76.62	69	32.01	57	40.73
1.5	78	84.02	78	34.77	68	43.8

CONCENTRACION= 400 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESION=	25000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	4.5681 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.07895 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	1 UNIDAD
AREA TOTAL=	0.02242 (m ²)
w=	52.6333 (Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	10	100.0000
0.2	17	85.0000
0.3	33	110.0000
0.4	52	130.0000
0.5	83	166.0000
0.6	105	175.0000
0.7	140	200.0000
0.8	167	208.7500
0.9	201	223.3333
1	236	236.0000
1.1	270	245.4545
1.2	320	266.6667
1.3	360	276.9231
1.4	396	282.8571
1.5	430	286.6667

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	77.83042275
PENDIENTE=	152.0995909

ALFA= 4 416 h²/Kg

BETA= 2 652 h²/m²

CONCENTRACION= 400 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESION=	25000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	4.562 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.10524 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	2 UNIDADES
AREA TOTAL=	0.04484 (m ²)
w=	70.1600 (Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	6	60.0000
0.2	13	65.0000
0.3	19	63.3333
0.4	25	62.5000
0.5	36	72.0000
0.6	44	73.3333
0.7	53	75.7143
0.8	60	75.0000
0.9	75	83.3333
1	86	86.0000
1.1	97	88.1818
1.2	121	100.8333
1.3	132	101.5385
1.4	144	102.8571
1.5	160	106.6667

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	53.09564721
PENDIENTE=	34.98808335

ALFA= 3 052 h²/Kg
 BETA= 3 624 h²/m²

CONCENTRACIÓN = 400 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCIÓN	
PRESIÓN =	25000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD =	4.3652 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA =	0.068952 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO =	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES =	3 UNIDADES
AREA TOTAL =	0.06726 (m ²)
w =	45.9680 (Kg/m ³)

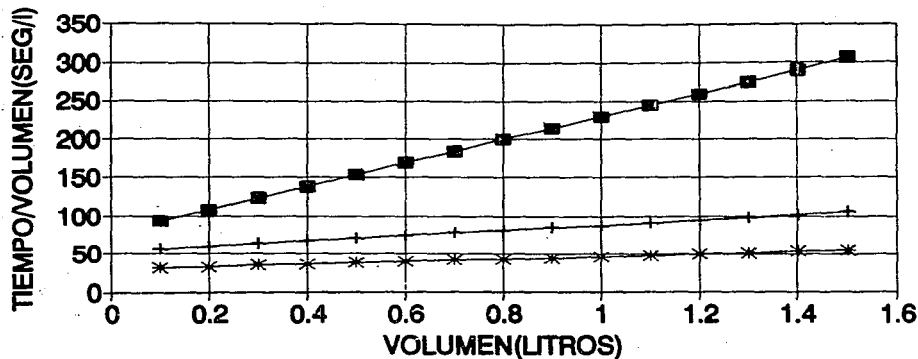
VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	4	40.0000
0.2	6	30.0000
0.3	10	33.3333
0.4	13	32.5000
0.5	19	38.0000
0.6	24	40.0000
0.7	27	38.5714
0.8	31	38.7500
0.9	38	42.2222
1	45	45.0000
1.1	53	48.1818
1.2	61	50.8333
1.3	69	53.0769
1.4	78	55.7143
1.5	86	57.3333

REGRESIÓN LINEAL:	
CONSTANTE =	28.84778105
PENDIENTE =	17.5666635

ALFA = 5 500 h²/Kg

BETA = 3 086 h²/m²

CONC. = 400g/2 000ml
P = 25 000 Kg/m²



ALFA = 4323 h²/Kg

BETA = 3121 h²/m²

■ UNA UNIDAD + DOS UNIDADES * TRES UNIDADES

CONCENTRACION= 400g/2 000ml
 PRESION= 25 000 Kgf/m2

VOLUMEN (LITROS)	TIEMPO (SEGUNDOS)					
	UNA UNIDAD		DOS UNIDADES		TRES UNIDADES	
	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO
0.1	10	9.31	6	5.65	4	3.69
0.2	17	20.01	13	12.01	6	7.71
0.3	33	34.43	19	19.07	10	12.01
0.4	52	51.81	25	26.83	13	16.64
0.5	83	72.14	36	35.29	19	21.58
0.6	105	95.42	44	44.45	24	26.83
0.7	140	121.66	53	54.31	27	32.39
0.8	187	150.65	60	64.86	31	38.26
0.9	201	182.99	75	78.12	38	44.45
1	236	218.08	86	88.08	45	50.94
1.1	270	256.12	97	100.74	53	57.75
1.2	320	297.11	121	114.09	61	64.86
1.3	360	341.06	132	128.15	69	72.29
1.4	396	387.95	144	142.91	78	80.03
1.5	430	437.81	160	158.38	83	88.08

CONCENTRACION= 400 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESION=	20000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD=	4.0236 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA=	0.065252 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO=	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES=	1 UNIDAD
AREA TOTAL=	0.02242 (m ²)
w=	43.50133 (Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	4	40.0000
0.2	8	40.0000
0.3	17	56.6667
0.4	23	57.5000
0.5	29	58.0000
0.6	34	56.6667
0.7	38	54.2857
0.8	44	55.0000
0.9	52	57.7778
1	56	56.0000
1.1	63	57.2727
1.2	68	56.6667
1.3	78	60.0000
1.4	87	62.1429
1.5	91	60.6667

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE=	46.93350512
PENDIENTE=	10.38693053

ALFA= 331 h²/Kg
 BETA= 1 452 h²/m²

CONCENTRACION = 400 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION	
PRESION =	20000 (Kg/m ²)
VISCOSIDAD =	4.0256 (Kg/m h)
MASA DE LA TORTA =	0.06354 (Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO =	0.0015 (m ³)
NUMERO DE UNIDADES =	2 UNIDADES
AREA TOTAL =	0.04484 (m ²)
w =	42.36 (Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	3	30.0000
0.2	5	25.0000
0.3	8	26.6667
0.4	11	27.5000
0.5	14	28.0000
0.6	18	30.0000
0.7	23	32.8571
0.8	29	36.2500
0.9	35	38.8889
1	41	41.0000
1.1	48	43.6364
1.2	56	46.6667
1.3	65	50.0000
1.4	72	51.4286
1.5	81	54.0000

REGRESIÓN LINEAL:	
CONSTANTE =	20.46403147
PENDIENTE =	21.24448567

ALFA = 2 783 h²/Kg

BETA = 1 266 h²/m²

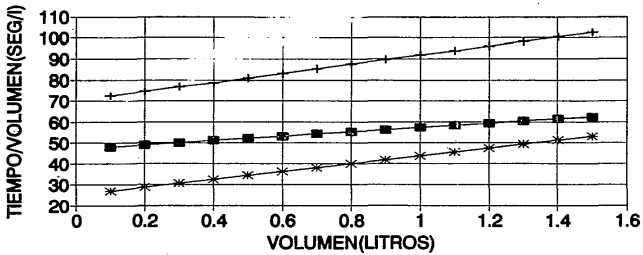
CONCENTRACION = 400 g DE SOLUTO / 2 000 ml DE SOLUCION		
PRESION =	20000	(Kg/m ²)
VISCOSIDAD =	5.236	(Kg/m h)
MASA DE LA TORTA =	0.11254	(Kg)
VOLUMEN DE FILTRADO =	0.0015	(m ³)
NUMERO DE UNIDADES =	3	UNIDADES
AREA TOTAL =	0.06726	(m ²)
w =	75.02667	(Kg/m ³)

VOLUMEN (litros)	TIEMPO REAL (seg)	TIEMPO/VOLUMEN (seg/l)
0.1	3	30.0000
0.2	6	30.0000
0.3	9	30.0000
0.4	13	32.5000
0.5	17	34.0000
0.6	21	35.0000
0.7	26	37.1429
0.8	31	38.7500
0.9	37	41.1111
1	43	43.0000
1.1	50	45.4545
1.2	57	47.5000
1.3	64	49.2308
1.4	73	52.1429
1.5	83	55.3333

REGRESION LINEAL:	
CONSTANTE =	25.20123501
PENDIENTE =	18.59557902

ALFA = 2 379 h²/Kg
 BETA = 1 798 h²/m²

CONC.=400g/2 000ml
P=20 000 Kg/m²



ALFA=1831 h²/Kg

BETA=1505 h²/m²

■ UNA UNIDAD + DOS UNIDADES * TRES UNIDADES

CONCENTRACION= 400g/2 000ml
 PRESION= 20 000 Kgf/m2

VOLUMEN (LITROS)	TIEMPO (SEGUNDOS)					
	UNA UNIDAD		DOS UNIDADES		TRES UNIDADES	
	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO
0.1	4	4.79	3	2.37	3	1.45
0.2	8	9.81	5	4.79	6	3.11
0.3	17	15.01	8	7.27	9	4.94
0.4	23	20.43	11	9.81	13	6.96
0.5	29	26.06	14	12.38	17	9.18
0.6	34	31.91	18	15.01	21	11.58
0.7	38	37.95	23	17.69	26	14.17
0.8	44	44.21	29	20.43	31	16.95
0.9	52	50.66	35	23.22	37	19.82
1	58	57.33	41	26.06	43	23.06
1.1	63	64.21	48	28.95	50	26.43
1.2	68	71.31	56	31.69	57	29.96
1.3	78	78.59	65	34.89	64	33.69
1.4	87	86.11	72	37.94	73	37.61
1.5	91	93.61	81	41.04	83	41.71

CAPITULO IV

ANALISIS DE

RESULTADOS EXPERIMENTALES

ANALISIS DE RESULTADOS

Al hacer el análisis de los datos para una presión y concentración dadas y después de obtener sus constantes las usamos para predecir los tiempos que se obtendrán al duplicar y triplicar el área y nos damos cuenta que los resultados experimentales se acercan mucho a los esperados por el modelo propuesto por Carman para estas condiciones de concentración y presión. Analicemos la ecuación que nos permite predecir tiempo.

$$\theta = \frac{\mu \alpha \omega}{2 P A^2} V^2 + \frac{\mu \beta}{P A} V$$

Para calcular el tiempo, la ecuación de Carman tiene dos miembros el primero de ellos depende de α y alfa depende de la pendiente, el segundo miembro es función de β y esta depende de la ordenada al origen. La dependencia del tiempo es cien veces mayor del segundo miembro que del primero.

$$\theta = \left(\underset{\text{PRIMER MIEMBRO}}{5.17 \times 10^{-5}} + \underset{\text{SEGUNDO MIEMBRO}}{2.39 \times 10^{-9}} \right) \text{ horas}$$

Por lo tanto podemos adivinar que la ecuación de Carman tiene una fuerte dependencia de la malla de filtración que de la resistencia que ofrece la formación de la torta, es por eso que cuando la solución es más diluida la ecuación predice mejor el tiempo pues la torta formada es más delgada y por lo tanto la resistencia ofrecida es menor.

Entonces concluimos que el equipo responde adecuadamente a la teoría de Carman cuando la concentración es baja esto es 200 gramos de soluto por 2 000 mililitros de solución; cuando el número de unidades es mayor, de tres por ejemplo, porque de esta forma la torta se forma en una área mayor, lo que favorece que sea muy delgada y por lo tanto la resistencia ofrecida sea menor.

Para ver que es lo que esta pasando con la presión bastara con revisar las dos primeras gráficas. Ambas son realizadas con una concentración de 200 gramos de soluto por 2 000 mililitros de solución en ambas gráficas las inclinaciones son muy parecidas. Pero en la segunda, donde la presión es 10 000 Kgf/m^2 más grande que en la primera nos damos cuenta que las tres líneas de la gráfica tienden al mismo lugar en las ordenadas; entonces concluimos que se trabaja mejor cuando la presión es mayor.

No pretendemos que estas sean las únicas condiciones en las que deba trabajar el filtro para que cumpla con la teoría de Carman pero si sugerimos a los profesores que trabajen con mallas siempre iguales, con presiones superiores a 20 000 Kgf/m^2 y que el área de trabajo sea lo más grande posible.

CAPITULO V

**EXPANSION DE RESULTADOS
PARA FILTROS INDUSTRIALES**

EXPANSION DE LOS RESULTADOS
PARA FILTROS
DE NIVEL INDUSTRIAL

Se ha pensado en hacer este análisis sobre los filtros prensa de nivel industrial, por que muchos de ellos son usados para fábricas que al iniciar tienen una capacidad menor a la que se pretende alcanzar cuando esta crezca y sus necesidades de filtración aumenten también.

Ocurre, de forma similar, que cuando una industria crece o desaparece, debe tratar de vender sus equipos a otras que por necesidades económicas puedan absorber este equipo.

En general los filtros no son fácilmente transferibles, pues estos se adquieren nuevos y adecuados exactamente para las necesidades de proceso. Es por todo esto que se tiene la necesidad de poder hacer adaptaciones a los filtros existentes y puedan ser adquiridos para hacerlos funcionar de forma adecuada a las nuevas necesidades, además de que la característica fundamental de los filtros prensa de presión es su versatilidad en el área de filtración.

De esta forma la teoría de Carman si permite a los empresarios comprar un equipo de filtración usado y adaptarlo a sus condiciones de trabajo siguiendo las siguientes recomendaciones antes de adquirir el filtro o si ya es de la empresa y desean hacerle modificaciones; pero debe tenerse en cuenta que estas solo son algunas recomendaciones de carácter técnico pues debe hacerse además un cuidadoso estudio económico antes de tratar de modificar las condiciones de

trabajo del filtro, y comparar con el costo de un filtro nuevo:

1) Sin desmontarlo, trabaje a las condiciones de diseño con su área, concentración y presión normales.

2) Obtenga las constantes α y β

3) Con ayuda de estas constantes prediga las condiciones a las que deberá trabajar el filtro según los requerimientos de entrada y salida de su nuevo proceso.

4) Realice las modificaciones pertinentes al filtro (sin dañarlo esencialmente, esto por si decide no adquirirlo) y efectúe corridas con las nuevas condiciones de trabajo.

Antes de tomar una decisión tenga en cuenta que puede modificar presión, concentración, tamaño del poro de la malla y área, serciorese de que las unidades de filtración se puedan desmontar, de ser así hagalo, realice corridas con diferentes áreas obteniendo de esta forma distintos valores de constantes α y β trabaje con predicciones intermedias que le permitan obtener información acerca de los que pasaría si el área del filtro es aumentada o disminuida

5) Si después de realizar este análisis se da cuenta de que el filtro puede ser adaptado a las condiciones de trabajo requeridas entonces es el momento de hacer un estudio económico sobre el costo de adaptación del filtro y el costo en tiempo de adaptación y montaje y comparar con lo que le costaría uno nuevo, tiempo de entrega y montado.

6) Decida si lo compra y lo adapta o lo adquiere nuevo.

CAPITULO VI

**PROPUESTA DE PRACTICA
PARA EL LABORATORIO DE I.Q.**

PRACTICA NUMERO _____

OBJETIVO: Que el alumno conozca la teoría de Carman y la use para hacer escalamiento de áreas en filtros de presión.

PROCEDIMIENTO:

- 1.-Prepara la solución problema con 200 gramos de carbonato de calcio aforando a 2 000 ml de solución.
- 2.-Alinear sistema.
- 3.-Arrancar las dos bombas simultaneamente.
- 4.-Controla presión en $25\ 000\ \text{Kgr/m}^2$
- 5.-Registra tiempo cada 0.1 litros de filtrado.
- 6.-Pesa la torta y registra su humedad.
- 7.-Repite los pasos anteriores con mas unidades de filtración.

CALCULOS Y RESULTADOS

- 1.-Indica los valores de α y β para cada corrida (no olvidar unidades) .
- 2.-Con α y β de la corrida uno predice tiempo de filtrado para las siguientes corridas.
- 3.-Compara los resultados reales con los calculados segun la teoría de Carman y formula una conclusión que verifiques con los objetivos de la práctica.

**DIAGRAMA DE FLUJO
DEL EQUIPO DE FILTRACION**

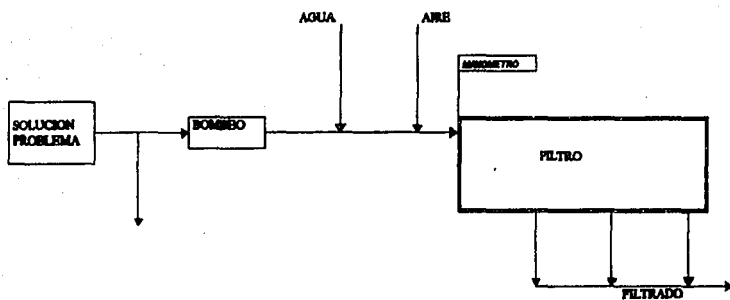


TABLA DE RESULTADOS

CONCENTRACION 200g/2.000ml
 PRESION= 2.500 Kgf/m²

VOLUMEN (LITROS)	TIEMPO (SEGUNDOS)					
	UNA UNIDAD		DOS UNIDADES		TRES UNIDADES	
	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO	REAL	CALCULADO
0.1						
0.2						
0.3						
0.4						
0.5						
0.6						
0.7						
0.8						
0.9						
1						
1.1						
1.2						
1.3						
1.4						
1.5						

CAPITULO VII

CONCLUSION

GENERAL

CONCLUSION GENERAL

Los filtros de presión se rigen en buena medida por las ecuaciones propuestas por la teoría de Carman, las variables propuestas por dicho investigador se ajustan a lo que la teoría predice. por lo que podemos concluir que es muy útil en la predicción de la escalación de áreas de filtros de presión.

Si podemos controlar todas las variables de la misma forma para corridas en las que, también de manera controlada, se modifique alguna de ellas, entonces podemos obtener datos que nos conduzcan a la predicción correcta de lo que pasará en el momento que decidamos cambiar el proceso.

Es definitivo que la teoría de Carman no es comprobable si se carece de datos reales, pues un filtro es susceptible de ser corregido partiendo de lo que ya es. Esto significa que la teoría de Carman nos es muy útil para hacer uso de un filtro que ya existe trabajando en las condiciones para las cuales fué diseñado y contando con sus ecuaciones y constantes podemos predecir las condiciones a las que debe trabajar el mismo filtro, aumentando o disminuyendo el área, para que funcione de la forma que necesitamos en las condiciones de proceso.

A continuación se muestran tres gráficas que ilustran las constantes de Carman α y β en función del área de filtración, de la presión de trabajo y de la concentración de la solución problema. En la primera de ellas se tomó como ejemplo la corrida en la que tenemos una concentración de 200 gramos de carbonato de calcio por 2 000 mililitros de solución y presión de 15 000 Kgr/m² y encontramos que las constantes para una, dos y tres unidades de filtración son muy semejantes, veamos:

UNA UNIDAD: $\alpha=840 \text{ h}^2/\text{Kg}$ $\beta=2 \ 234 \text{ h}^2/\text{m}^2$

DOS UNIDADES: $\alpha=874 \text{ h}^2/\text{Kg}$ $\beta=2 \ 205 \text{ h}^2/\text{m}^2$

TRES UNIDADES: $\alpha=843 \text{ h}^2/\text{Kg}$ $\beta=2 \ 236 \text{ h}^2/\text{m}^2$

Esta gráfica muestra que α y β se mantienen fijas cuando mantenemos fijas también la concentración y la presión lo que nos indica que la ecuación funciona de manera adecuada en estas condiciones de trabajo.

La segunda y tercera gráficas son una emanación de la primera; la segunda gráfica, que muestra el comportamiento de α y β en función de la presión cuando la concentración se mantiene fija en 200 gramos de carbonato de calcio por 2000 mililitros de solución, y observamos que α y β no se mantienen fijas al variar la presión. Lo mismo ocurre con la tercera gráfica en la que observamos el comportamiento de α y β en función de la concentración, dichas constantes no se

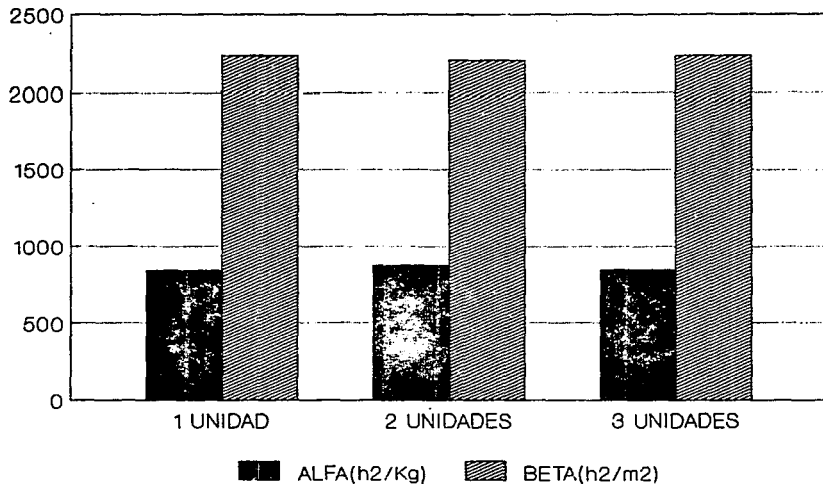
mantienen fijas.

De esto podemos concluir que la ecuación no puede predecir el comportamiento del equipo cuando variamos presión o concentración y fijamos las otras dos variables, pero sí puede predecir que pasará cuando fijamos presión y concentración y variamos área de filtración.

En concreto lo que puede predecir la ecuación de Carman es el tiempo de filtración de un determinado proceso, cuando se mantienen constantes presión y concentración, variando el área de filtrado.

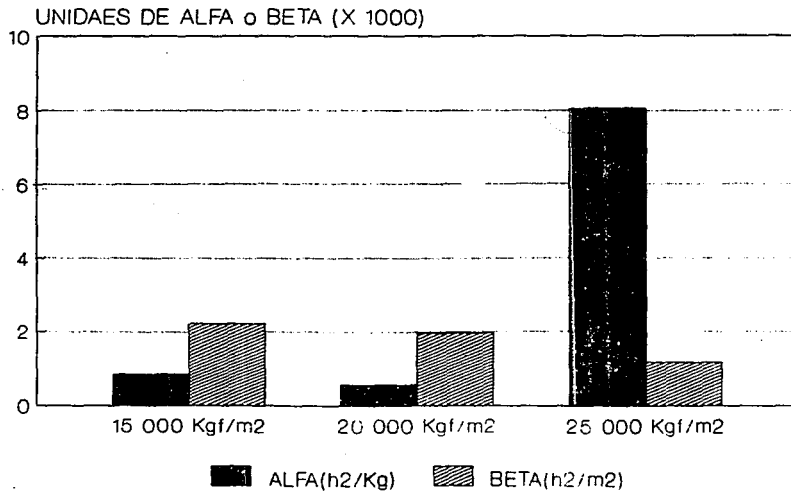
Una importante tarea del Ingeniero Químico es la de reducir tiempo de proceso pues eso repercute directamente en la economía del producto y este trabajo pretende colaborar en la reducción del tiempo de filtrado manteniendo las condiciones de operación.

$C=200\text{g}/2000\text{ ml}$
 $P=15\ 000\ \text{Kgf}/\text{m}^2$



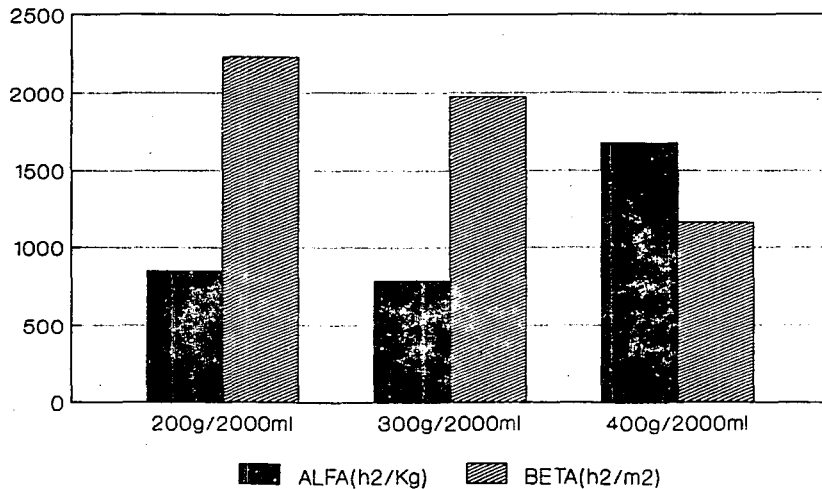
ALFA Y BETA EN FUNCION DE AREA

C=200g/2000 ml



ALFA Y BETA EN FUNCION DE PRESION

P=15 000 Kgf/m²



ALFA Y BETA EN FUNCION DE CONCENTRACION

BIBLIOGRAFIA

-Problemas de Ingeniería Química

Joaquin Ocon.

Editorial Aguilar

-Operaciones de Transferencia de Masa

Robert E. Treybal.

McGraw Hill Editores

-Elementos de Ingeniería Química.

Angel Vian.

Joaquin Ocon.

Editorial Aguilar.