

TUES
1506
Ch 512d
1998
E. 2

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**Diseño, Construcción y Pruebas de Funcionamiento de
un Filtro Prensa a Nivel de Laboratorio para la Escuela
de Ingeniería Química**

PRESENTADO POR:

CHAVEZ PALACIOS, HECTOR SALOMÓN
MORÁN AYALA, MIGUEL EDUARDO
ZELAYA QUINTANILLA, FELIX ALBERTO

15100971

15100971

PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO



CIUDAD UNIVERSIARIA, JUNIO 1998



i

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR : DR. JOSE BENJAMIN LOPEZ GUILLEN

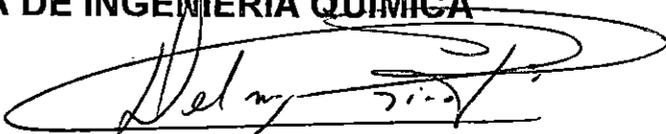
SECRETARIO GENERAL : LIC. ENNIO ARTURO LUNA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO : ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO : ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

DIRECTORA : 
ING., M.Sc DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

INGENIERO QUIMICO

**Título :
Diseño, Construcción y Pruebas de
Funcionamiento de un Filtro Prensa a Nivel de
Laboratorio para la Escuela de Ingeniería Química**

Presentado por:

**CHAVEZ PALACIOS, HECTOR SALOMÓN
MORÁN AYALA, MIGUEL EDUARDO
ZELAYA QUINTANILLA, FELIX ALBERTO**

Trabajo de Graduación aprobado por:

**Coordinadora :
Ing., M.Sc Delmy del Carmen Rico Peña**

**Asesor :
Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya**

San Salvador, Junio de 1998.

Trabajo de Graduación aprobado por:

Coordinadora :



Ing., M.Sc Delmy del Carmen Rico Peña



Asesor :



Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo, agradecemos a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron para llevarlo a feliz término.

Particularmente apreciable fue la colaboración del personal de la Unidad Productiva de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, en especial del Lic. Edgar Ramiro Méndez, por su interés en la construcción del sistema de Filtración. Deseamos agradecer también al Ing. Adolfo Segovia por su asesoría para la selección de material de construcción del filtro; al Sr. Oscar Cardona, de "El Astillero S.A de C.V", por su valiosa información sobre la construcción de piezas de fibra de vidrio; al Sr. Juan Rodolfo Mendoza, Sr. Oscar Morán y a la Ing. Tania Torres, por las facilidades, sugerencias y recados durante el desarrollo del proyecto en la Planta Piloto; y a nuestros asesores, Ing. Delmy del Carmen Rico Peña e Ing. Teodoro Ramírez, por su paciencia y su tiempo, así como por sus certeras orientaciones.

DEDICATORIA

- A DIOS TODO PODEROSO: Por iluminarme y haberme permitido alcanzar este triunfo tan grandioso, llenándome de fuerzas y bendiciones en los momentos más duros.
- A MIS PADRES : José Luis y Delia de Chávez, por darme su apoyo y confianza para salir adelante durante el transcurso de mi carrera y vida.
- A MIS HERMANOS : Luis Ernesto y Marcos René Chávez, por toda la ayuda y el apoyo que me proporcionan, les deseo lo mejor para que logren sus metas en sus vidas.
- A MI NOVIA : Sandra Parras, por todo su amor, comprensión y apoyo que me ha brindado, deseándole que sus metas sean culminadas con mucho triunfo.
- A MIS AMIGOS : Por toda ayuda brindada durante el desarrollo de estudios y por todos los momentos compartidos.

Héctor Salomón Chávez Palacios

DEDICATORIA

A Virna

A Estefanía, Amanda y Alana

A mi madre, Edith Ayala (in memoriam)

A mis abuelos, padre, hermanos y tíos

Miguel Eduardo Morán.

DEDICATORIA

A DIOS TODO PODEROSO: Por permitirme lograr obtener este triunfo.

A MI MADRE : Gloria, por todos sus sacrificios, esfuerzos y amor brindado durante toda mi vida.

A MI HERMANA : Rosa Elia, por su apoyo incondicional, por darme ánimo en los momentos más difíciles.

A MI ESPOSA : Kenny, por su comprensión y ayuda.

A MI ABUELA : Elia, por sus oraciones, apoyo y buenos consejos.

A MI TIO : René, por su confianza y ayuda brindada.

A MI FAMILIA : Por su colaboración y ayuda proporcionada.

Felix A. Zelaya

RESUMEN

El Filtro Prensa de Placas y Marcos, es un aparato para la separación sólido/líquido que contiene una serie de placas con una malla filtrante; las partículas son atrapadas entre las placas, permitiendo que el líquido filtrado sea descargado y los sólidos colectados como una torta comprimida en el interior de los marcos que se alternan con las placas.

El objetivo de este trabajo es el diseño y construcción de un Filtro Prensa a escala de laboratorio para ser utilizado como herramienta de apoyo para la enseñanza de la Ingeniería Química. El diseño del mismo se realizó a partir de una simulación matemática para diferentes condiciones bajo las cuales podría trabajar el filtro a nivel de laboratorio; producto de dicho proceso se determinó el área de filtración en 0.72 m^2 (aproximadamente 8 pies^2), potencia total de trabajo de 1 Hp y una presión total de trabajo en un rango de 10 a 75 Psi.

Para las placas y marcos se utilizó resina Poliester con fibra de vidrio como material de construcción, montados en una estructura de hierro. El cierre de la prensa se hizo mediante una estructura de hierro acoplada a un tornillo sin fin, para ser operado en forma manual. La lechada se alimenta al filtro a través de una bomba centrífuga de 1 Hp, desde un tanque de 0.73 m^3 , con un agitador de turbina con aspas inclinadas de 0.125 Hp. La descarga del filtrado es de tipo abierto y se recoge en un tanque de igual capacidad que el de alimentación, que cuenta con un medidor de nivel con divisiones cada 5 litros. Los marcos son alimentados por la bomba en forma individual mediante mangueras reforzadas con acoplamiento directo a los mismos.

El funcionamiento del Filtro Prensa fue verificado mediante pruebas de filtración con pectina (polímero del ácido galacturónico) comercial, como medio de filtración, realizadas a diferentes niveles de presión constante (10, 15, 20, 25 y 30 psi), manteniéndose constante los parámetros de concentración de medio filtrante, viscosidad del filtrado, espesor de torta y área efectiva de filtración, colectando datos de volumen de filtrado en función del tiempo.

Obteniéndose, para ese rango, una expresión para el valor de la resistencia específica promedio de la torta formada en función de la presión, con la forma:

$$\alpha = 3.4 \times 10^5 \times P^{1.012}, \text{ donde } P = [\text{Psi}] \text{ y } \alpha = [\text{m/kg}].$$

INDICE

Contenido	Pag.
INTRODUCCIÓN	1
1.0 OPERACIONES DE FILTRACIÓN	2
1.1 Clasificación de las Operaciones de Filtración.	3
1.2 Aparatos para Filtración Líquido-Sólido	5
1.2.1 Filtros Discontinuos de Presión	7
1.2.2 Filtros Continuos de Presión.	10
1.2.3 Filtros Espesadores de Presión	11
1.2.4 Filtros Discontinuos de Vacío	12
1.2.5 Filtros Continuos de Vacío	13
1.2.6 Filtro Horizontal de Vacío.	14
1.3 Medios Filtrantes	16
1.3.1 Telas de Fibras Tejidas	18
1.3.2 Telas Metálicas o Cedazos.	21
1.3.3 Filtros Prensados y Borra de Algodón	21
1.3.4 Tramas no Tejidas	22
1.3.5 Papeles de Filtro	22
1.3.6 Medios Porosos Rígidos	22
1.3.7 Membranas Poliméricas	23
1.3.8 Lechos Granulares de Sólidos Particulados	23
1.4 Coadyuvantes de Filtración	23
1.5 Filtro Prensa de Placas y Marcos	26
1.6 Teoría de la Filtración	33
1.6.1 Filtración a Presión Constante	37

Contenido	Pag.
1.6.2 Filtración a Velocidad Constante	39
1.6.3 Filtración a Velocidad y Presión Variables	40
1.6.4 Importancia Práctica de las Ecuaciones de Filtración	40
1.6.4.1 Efectos de Variables de Operación en el Proceso de Filtración.	41
1.6.5 Aplicaciones de la Teoría de Filtración a la Interpretación de Datos	47
2.0 DISEÑO DE FILTROS A PRESIÓN POR LOTES.	51
2.1 El Ciclo de Operación	51
2.2 Ecuaciones de Diseño.	54
2.3 Cálculo de Parámetros de Operación del Filtro Prensa	59
2.4 Simulación Matemática para Cálculo del Área de Filtración.	63
2.5 Selección de Lechada a Filtrar Durante las Pruebas.	68
2.5.1 Tierras Diatomáceas Agotadas	69
2.5.2 Carbonato de Calcio	73
2.5.3 Pectina	73
2.6 Selección del Medio Filtrante.	74
2.7 Selección de Materiales de Construcción de Placas y Marcos del Filtro Prensa	74

Contenido	Pag.
2.7.1 Fabricación de las Muestras de Resina Poliéster y Fibra de Vidrio para las Pruebas de Resistencia al Impacto, la Compresión y al Ataque Químico	75
2.7.2 Pruebas de Resistencia al Impacto y a la Compresión	75
2.7.3 Pruebas de Resistencia al Ataque Químico	76
2.8 Colado de las Placas y Marcos	77
2.9 Construcción del Filtro Prensa	79
3.0 OPERACIÓN DEL FILTRO PRENSA	83
3.1 Antes del Arranque	83
3.2 Durante la Filtración	84
3.3 Después de la Filtración	85
3.4 Pruebas de Filtración	85
3.4.1 Analisis de Resultados	88
4.0 CONCLUSIONES	101
5.0 RECOMENDACIONES	102
6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	104
7.0 ANEXOS. Diagramas del Diseño del Filtro Prensa	106

INDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Fig. 1.1 Equipo Automático de Filtro Prensa. (McCabe y Smith, 1991)	8,
Fig.1.2 Filtro de Hojas a Presión en Tanque Horizontal (McCabe, Smith, 1991)	9
Fig. 1.3 Filtro de Cartucho (McCabe, Smith, 1991)	11
Fig. 1.4 Filtro Espesador de Presión (McCabe, Smith, 1985)	13
Fig.1.5 Filtro Rotatorio Continuo de Vacío, (McCabe y Smith, 1991)	15
Fig. 1.6 Filtro Horizontal de Vacío (McCabe y Smith, 1985)	16
Fig. 1.7 Representación Gráfica del Par Marco - Placa de un Filtro de Presión (Foust, et al. , 1987)	28
Fig.1.8 Diagrama de Filtro Prensa en Operación (Foust, et al. , 1987)	29
Fig.1.9 Patrones de Llenado y Flujo de Lavado en un Filtro Prensa (Jacobs, L., et al. , 1995)	36
Fig.1.10 Ciclos Caracteristicos de Filtración (Foust, et al. , 1985)	38
Fig.1.11 Gráficas típicas de Datos de Filtración (Perry, et al. , 1995).	49
Fig.2.1 Ciclos de Operación Típicos en Filtros Prensa	53
Fig. 2.2 Area de Filtración Mínima Dependiente del Flujo Instantáneo G_1 (Brown, 1982)	62
Fig. 2.3 Flujo Másico Promedio, el Cual Exhibe un Máximo (Brown, 1982)	62

Contenido	Pág.
Fig. 2.4 Las Condiciones de Diseño Deben Acercarse al Punto Donde la Curva $(W_2/A)_{\text{Max}}$ Vrs. G_1 sé Nivelada (Brown, 1982).	63
Fig. 2.5 Area de Filtración Mínima a Partir de Ecuación 2.19 con $K = 6$, $X = 0.3$, $\theta_d = 1$ h Y $W_2 = 300$ Lb/h.	70
Fig. 2.6 Area de Filtración Mínima a Partir de Ecuación 2.19 con $K = 4$, $X = 0.2$, $\theta_d = 0.5$ h Y $W_2 = 300$ Lb/h	71
Fig. 2.7 Area de Filtración Mínima a Partir de Ecuación 2.19 con $K = 6$, $X = 0.3$, $\theta_d = 0.5$ h Y $W_2 = 200$ Lb/h	72
Fig. 3.1 Sistema de Filtración del Filtro Prensa a Presión para Uso a Nivel de Laboratorio	86
Fig. 3.2 Trazado de $\Delta t/\Delta V$ contra V_{prom} para Pruebas de Filtración a 10 psi	94
Fig. 3.3 Trazado de $\Delta t/\Delta V$ contra V_{prom} para Pruebas de Filtración a 15 psi	95
Fig. 3.4 Trazado de $\Delta t/\Delta V$ Contra V_{prom} para Pruebas de Filtración a 20 psi	96
Fig. 3.5 Trazado de $\Delta t/\Delta V$ Contra V_{prom} para Pruebas de Filtración a 25 psi	97
Fig. 3.6 Trazado de $\Delta t/\Delta V$ Contra V_{prom} para Pruebas de Filtración a 30 psi	98
Fig. 3.7 Trazado de $\Delta t/\Delta V$ Contra V_{prom} para Pruebas de Filtración a Diferentes Presiones	99
Fig. 3.8 Gráfico Logarítmico de α , Resistencia Especifica de la Torta, contra P , para Pruebas de Filtración con Pectina	100

INDICE DE CUADROS

Contenido	Pag.
Cuadro 1.1 Características Físicas y Químicas de los Medios Filtrantes	19
Cuadro 2.1 Matriz de Variables de Filtración para Proceso de Simulación	64
Cuadro 2.2 Parámetros Utilizados en la Simulación a Partir de la Matriz de Variables de Filtración	67
Cuadro 2.3. Resultados de las Pruebas Físicas de Impacto y Compresión en Muestras de Resina Poliester Con y Sin Fibra de Vidrio	77
Cuadro 2.4a Resultados Obtenidos de las Pruebas de Resistencia al Ataque Químico en Muestras de Resina Poliester	78
Cuadro 2.4b Resultados Obtenidos de las Pruebas de Resistencia al Ataque Químico en Muestras de Resina Poliester con Fibra de Vidrio	78
Cuadro 2.5 Materiales y Medidas con los que fue Construido el Filtro Prensa	81
Cuadro 2.6 Especificaciones de Accesorios del Filtro Prensa	82
Cuadro 3.1 Fracción de Pectina Seca y de Humedad de Torta de Filtración en Diferentes Etapas de Secado al Aire. Los Datos se Obtuvieron de Muestras Secadas en estufa a 60°C, por Duplicado	89

Contenido	Pag.
Cuadro 3.2 Masa (en Kg.) de Torta Obtenida en Tres Pruebas de Filtración de Pectina, de Marcos Y de Marcos con Lona Húmeda	89
Cuadro 3.3 Datos de Tiempo y Volumen de Filtrado para Pruebas de Filtración Realizadas a Diferente Niveles de Operación	92
Cuadro 3.4 Datos de $\Delta t/\Delta V$ contra V_{prom} para las diferentes Pruebas Filtración a Presión Constante	93
Cuadro 3.5 Valores de K_p , C' , r y α para Pruebas de Filtración	93

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:

INGENIERO QUIMICO

Titulo : **Diseño, Construcción y Pruebas de
Funcionamiento de un Filtro Prensa a Nivel de
Laboratorio para la Escuela de Ingeniería Química**

Presentado por:

**CHAVEZ PALACIOS, HECTOR SALOMÓN
MORÁN AYALA, MIGUEL EDUARDO
ZELAYA QUINTANILLA, FELIX ALBERTO**

Trabajo de Graduación aprobado por:

Coordinadora : **Ing., M.Sc Delmy del Carmen Rico Peña**

Asesor : **Ing. Fernando Teodoro Ramírez Zelaya**

San Salvador, Junio de 1998.

INTRODUCCIÓN

La filtración es una operación unitaria de amplia difusión en la industria de proceso químico. Entre sus aplicaciones más comunes en El Salvador se encuentran: la eliminación de sustancias objetables al sabor y color de aceites comestibles así como separación de ceras y grasas en aceites "Winterizados"; la clarificación de bebidas y otros productos alimenticios y la separación de infusión y grano en la industria del café soluble, entre otras. También puede mencionarse su uso en el tratamiento de aguas.

Uno de los aparatos para la filtración de más amplia difusión en la industria es el Filtro Prensa de Placas y Marcos, el cual consiste en una serie de placas diseñadas para proporcionar compartimientos en los cuales se depositan los sólidos; estas placas se cubren con un medio filtrante, como lonas, y la suspensión se alimenta a los compartimientos por acción de una diferencia de presión, el líquido atraviesa las lonas y sale por la descarga, dejando atrás una torta húmeda de sólidos.

A pesar de su amplia difusión y antigüedad, en la Escuela de Ingeniería Química no se ha realizado antes ningún proyecto de investigación sobre este tipo de aparatos, ni se cuenta con un equipo experimental de filtración de torta, por lo que en este proyecto se aborda con detalle tanto la teoría de la filtración, como las diferentes etapas de diseño, construcción y operación del Filtro Prensa, lo que puede contribuir a una mejor comprensión de esta importante operación de separación sólido-líquido en la formación de Ingenieros Químicos de esta Universidad.

1.0 OPERACIONES DE FILTRACIÓN.

La filtración es la separación de una mezcla de sólidos y fluidos que incluye el paso de la mayor parte del fluido a través de un medio poroso, que retiene la mayor parte de las partículas sólidas contenidas en la mezcla. Filtración es el nombre de la operación unitaria. Un filtro es un equipo de las operaciones unitarias por medio del que se realiza la filtración. El medio filtrante es la barrera que permite el paso del líquido, mientras retiene la mayor parte de los sólidos, dicho medio puede ser una pantalla, tela, papel o un lecho de sólidos. El Líquido que pasa a través del medio filtrante se conoce como filtrado (Jacobs, L., et al., 1995).

La filtración industrial va desde el simple colado hasta separaciones altamente complejas. El fluido puede ser un líquido o un gas; las partículas sólidas pueden ser gruesas o finas, rígidas o plásticas, redondas o alargadas, individualidades separadas o agregadas. La suspensión de alimentación puede llevar una fracción elevada o muy baja de sólidos. Puede estar muy fría o muy caliente, y estar sometida a vacío o alta presión. Se introduce una nueva complejidad al considerar el valor relativo de las dos fases, a veces es el fluido la fase valiosa, a veces lo es el sólido y otras ambos; en algunos casos la separación de las fases debe ser prácticamente completa; en otras sólo se desea una separación parcial. Por consiguiente se han desarrollado numerosos filtros para resolver los diferentes problemas (McCabe y Smith, 1985).

La filtración es una de las aplicaciones del flujo de fluidos a través de lechos empacados. En la forma en que se lleva a cabo en la industria, resulta extremadamente análoga a las filtraciones que se verifican en el laboratorio químico usando papel filtro en un embudo. El objetivo también es la separación de un sólido del fluido en el cual se transporta. En ambos casos, la separación se logra forzando

al fluido a través de una membrana porosa. Las partículas sólidas son atrapadas dentro de los poros de la membrana y se acumulan en una capa sobre la superficie de esta membrana. El fluido, que puede ser gas o líquido, pasa a través del lecho de sólido y por la membrana de retención (McCabe y Smith, 1985).

La filtración industrial sólo difiere de la filtración de laboratorio en el volumen de material manejado a bajo costo. Por tanto, para obtener un gasto razonable con un filtro de tamaño moderado, se puede incrementar la caída de presión del flujo o disminuir la resistencia al mismo. La mayor parte del equipo industrial reduce la resistencia al flujo haciendo el área de filtrado tan grande como sea posible, sin aumentar el tamaño total del aparato de filtración. La selección del equipo de filtrado depende en gran medida de la economía, pero las ventajas económicas variarán dependiendo de lo siguiente según lo indicado por Foust, et al., (1981):

- a) Viscosidad, densidad y reactividad química del fluido.
- b) Tamaño, distribución de tamaño, forma, tendencias a la floculación y deformabilidad de las partículas sólidas.
- c) Concentración de la suspensión alimentada.
- d) Cantidad de material que va a manejarse.
- e) Valores absolutos y relativos de los productos líquidos y sólidos.
- f) Grado de separación requerido.
- g) Costos relativos de mano de obra, capital y energía.

1.1 Clasificación de las Operaciones de Filtración.

La filtración y los filtros se pueden clasificar en varias formas de acuerdo a Jacobs, L., et al., (1995).

- a) **Por la fuerza impulsora.** Se induce el flujo del filtrado por el medio filtrante mediante la carga hidrostática (gravedad), presión sobre-atmosférica o vacío aplicada corriente arriba del medio filtrante, presión subatmosférica aplicada corriente abajo del citado medio o fuerza centrífuga a través de este último. La filtración centrífuga se asocia por lo común a la sedimentación centrífuga, ambas son estudiadas normalmente como parte de la centrifugación.
- b) **Por el mecanismo de filtración.** Aunque el mecanismo para la separación y acumulación de sólidos no se comprende completamente, dos modelos suelen ser considerados y constituyen la base para la aplicación de la teoría al proceso de filtración. Cuando los sólidos quedan, detenidos en la superficie de un medio de filtración y se amontonan unos sobre otros para formar una torta de creciente espesor, la separación es conocida como **filtración de torta**. Cuando los sólidos quedan atrapados dentro de los poros o cuerpo del medio de filtración, se le denomina **medio filtrante de profundidad, o filtración clarificadora**.
- b) **Por la función.** La meta del proceso de filtración puede ser la obtención de sólidos secos (la torta es el producto de valor), líquido clarificado (el filtrado es el producto valioso) o ambas cosas. La recuperación de buenos sólidos se obtiene mejor mediante la filtración de la torta, mientras que la clarificación del líquido se logra ya sea por la filtración de profundidad o de torta.
- d) **Por ciclo operacional.** Los filtros pueden ser intermitentes (por lotes) o continuos y los filtros por lotes se pueden manejar con una fuerza impulsora de presión constante, a velocidad constante o en ciclos variables, con respecto tanto a la presión como a la velocidad. El ciclo por lotes puede variar grandemente,

dependiendo del área de filtrado y la carga de sólidos. Durante gran parte del ciclo de operación de un filtro discontinuo el flujo del líquido a través del aparato es continuo, pero debe interrumpirse periódicamente para permitir la descarga de los sólidos acumulados. En un filtro continuo, tanto la descarga de los sólidos como del líquido es interrumpida cuando el aparato está en operación.

- e) **Por la naturaleza de los sólidos.** La filtración de tortas puede incluir una acumulación de sólidos sustancialmente incompresibles, que corresponden, más o menos, en la filtración de medio de filtro, a partículas deformables y rígidas. El tamaño de partículas o de agregados de partículas puede ser del mismo orden de magnitud que el tamaño de poros mínimos de la mayor parte de los medios de filtración (1 a 10 micras y mayores) o más pequeños (de 1 micra hasta las dimensiones de las bacterias o, incluso, las moléculas grandes). La mayor parte de las filtraciones incluyen sólidos de la primera gama de tamaños; los de la última se pueden filtrar sólo mediante la ultrafiltración o la filtración del tipo de medio de filtro, a menos que se conviertan a la primera gama mediante la agregación, antes de la filtración.

Estos métodos de clasificación no se excluyen mutuamente. Así, por lo común, los filtros se dividen primero en los dos grupos de equipos de torta y clarificación, a continuación en grupos de máquinas que utilizan la misma fuerza impulsora y , luego, en las clases por lotes y continuas (Jacobs, L., et al., 1995).

1.2 Aparatos para Filtración Líquido-Sólido.

De acuerdo a McCabe y Smith (1985), la mayoría de filtros líquido-sólido de uso industrial pueden dividirse en cuatro grupos, dependiendo del servicio que realicen: Coladores, Clarificadores, Filtros de Torta, Espesadores de Filtro.

- a) Un colador es usualmente una tela metálica colocada a través de un canal de flujo para separar la herrumbre o suciedad de un líquido en movimiento. Cuando la tela se obstruye se reemplaza fácilmente.
- b) Los clarificadores también separan pequeñas cantidades de sólidos, para producir generalmente líquidos translúcidos, como tintas de imprentas y bebidas. Los sólidos retirados se desechan en la mayoría de los casos. El medio filtrante en un clarificador es una membrana de tela o papel o un cartucho de discos metálicos.
- c) Los filtros de tortas separan grandes cantidades de sólidos en forma de una pasta de cristales o lodos. A menudo están provistos de dispositivos para lavar los sólidos y retirar de ellos la mayor parte de líquido posible antes de la descarga.
- d) Un espesador de filtro produce una separación parcial de una suspensión ligera, descargando algo de líquido claro y espesando la suspensión de sólidos.

Los líquidos fluyen a través de un medio filtrante en virtud de una presión diferencial a través del medio. Las presiones superiores a la atmosférica pueden producirse por la fuerza de gravedad debida a una columna de líquido, con una bomba o por una fuerza centrífuga. En un filtro de gravedad el medio filtrante no puede ser más grueso que una tela o un lecho de partículas gruesas como arena. Los filtros de gravedad están restringidos, por consiguiente, en sus aplicaciones industriales, el drenaje del líquido de una mezcla con cristales gruesos y a la clarificación de agua (McCabe y Smith, 1985).

La mayoría de los filtros industriales son filtros de presión o de vacío. También son continuos o discontinuos, dependiendo de que la descarga de los sólidos sea continua o intermitente (McCabe y Smith, 1985).

1.2.1 Filtros Discontinuos de Presión.

Los filtros de presión pueden operar con una gran diferencia de presión a través del medio filtrante para obtener la filtración rápida y económica de líquidos viscosos o sólidos finos. Los tipos más comunes de filtros de presión son filtros-prensa, filtros de hojas y carcasas y filtros de cartucho. A causa de la dificultad de descargar los sólidos a presión superior a la atmosférica, los filtros de presión son generalmente discontinuos.

Según McCabe y Smith(1985), los filtros de torta continuos de presión encuentran solo aplicaciones limitadas, aunque importantes en algunos procesos.

a) **Filtro Prensa.** Un filtro prensa (Figura 1.1), contiene una serie de placas diseñadas para formar una serie de cámaras, o compartimentos, en los cuales pueden recogerse los sólidos. Las placas están recubiertas con un medio filtrante tal como lona. La suspensión entra a presión en cada compartimento; el líquido pasa a través de la lona y sale por un tubo de descarga, dejando detrás una pasta húmeda de sólidos llamada torta. Todo parámetro considerado en este tipo de filtro es descrito con más detalle en la sección 1.5 .

b) **Filtros Horizontales de Hojas y Carcasas.** Cuando se desea filtrar a presiones superiores a las que son posibles en el filtro prensa de placas y marcos, economizar mano de obra o realizar un lavado más efectivo de la torta, puede usarse un filtro de hojas y carcasas. El diseño se muestra en la figura 1.2, se

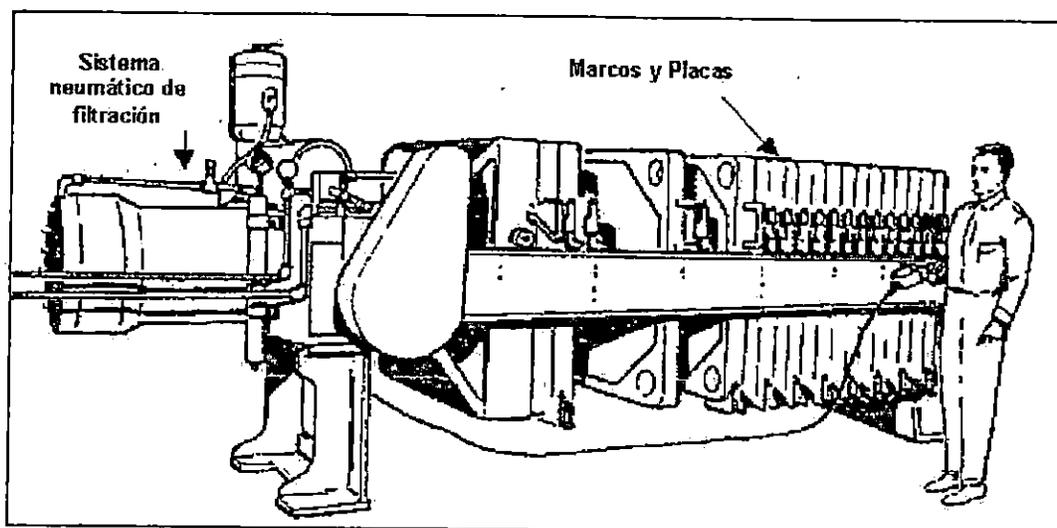


Fig. 1.1. Equipo Automático de Filtro Prensa. (McCabe y Smith, 1991)

sitúa un filtro horizontal con conjunto de hojas verticales sobre un bastidor retráctil, la unidad se abre para descargarla, mientras que durante la operación las hojas permanecen dentro del tanque cerrado.

La alimentación entra por un lado del tanque , el filtrado pasa a través de las hojas y sale por un colector de descarga múltiple .

c) Filtros verticales de hojas a Presión. Estos filtros tienen hojas verticales, paralelas y rectangulares, montadas en un tanque de presión cilíndrico vertical. Por lo común, las hojas suelen ser de anchuras diferentes, que les permiten conformarse a la curvatura del tanque y llenarlo sin desperdicio de espacio. Con frecuencia, las hojas reposan en un múltiple de filtrado, sellándose la conexión mediante un anillo en O, de modo que se puede levantar individualmente de la parte superior del filtro para la inspección y las reparaciones.

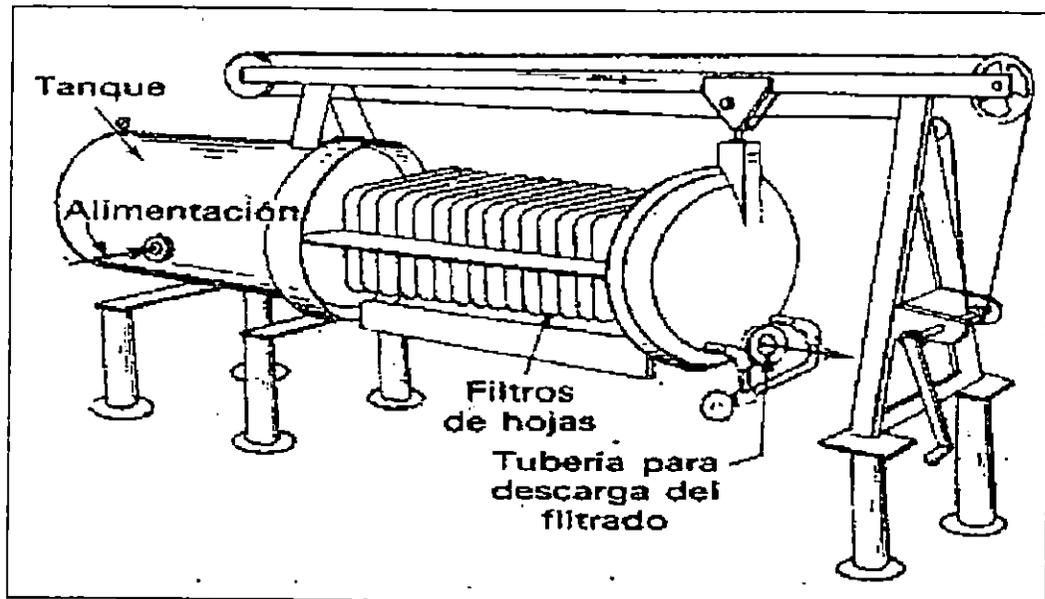


Fig.1.2 . Filtro de Hojas a Presión en Tanque Horizontal (McCabe, Smith, 1991)

Con frecuencia se instala una hoja barredora en la parte del fondo del casco para permitir filtración virtualmente del remanente de lechada cuando se llega al final del ciclo.

Los filtros verticales no son convenientes para retirar la torta seca, aun cuando se pueden utilizar en este servicio si tienen un fondo que se pueda hacer retroceder para permitir que caiga la torta a una tolva o en un recipiente situado por debajo. Se adaptan mejor a la descarga de sólidos húmedos, en un proceso que se puede facilitar mediante la vibración de hojas, la aspersion de aire o vapor desde un filtro lleno de agua, del desfogue por medio de boquillas fijas, oscilantes o con desplazamiento y el sople inverso de aire. Los fabrican muchas compañías y se emplean, sobre todo, para la filtración de ayudas de filtración con prerrecubrimiento (Jacobs, L., et al., 1995).

d) **Filtros de Cartucho.** El filtro típico de cartucho ver Fig. 1.3, es usado principalmente para separar pequeñas cantidades de sólidos de un fluido. El cartucho filtrante es una serie de discos metálicos delgados de 8 a 25 cm de diámetro, colocados verticalmente y dejando espacios muy estrechos y uniformes entre ellos. Los discos se disponen sobre un eje vertical hueco y se introducen en una carcasa cilíndrica cerrada. El líquido entra a la carcasa a presión, fluye entre los discos hasta unas aberturas situadas sobre el eje central y sale por la parte superior de la carcasa. Los sólidos son retenidos entre los discos y permanecen en el filtro. Puesto que la mayor parte de los sólidos se separa en la periferia de los discos, este aparato recibe el nombre de filtro de bordes. Los sólidos acumulados en el cartucho deben ser descargados periódicamente.

1.2.2 Filtros Continuos de Presión

Los filtros discontinuos requieren a menudo mucha mano de obra que, en los procesos a gran escala, puede dar lugar a costos prohibitivos. Los filtros continuos de vacío, que se describen en la sección 1.2.5, se desarrollan para reducir la mano de obra requerida para la filtración. Sin embargo, a veces la filtración a vacío no es posible o no resulta económica, como ocurre cuando los sólidos son muy finos y filtran muy lentamente, el líquido tiene una presión de vapor alta, una viscosidad de 100 cp, o es una solución saturada que cristaliza si se le enfría. Con suspensiones que filtran lentamente, la diferencia de presión a través del medio filtrante debe ser mayor que la que se puede obtenerse en un filtro de vacío, con líquidos que se vaporizan o cristalizan a presión reducida, la presión a la salida del medio filtrante no puede ser menor que la atmosférica.

Así, los filtros continuos de tambor giratorio que se describen en la sección 1.2.5, están adaptados para operar bajo presiones positivas hasta de 3 kg/cm²; sin embargo, los problemas mecánicos de la descarga de sólidos en estos filtros, su

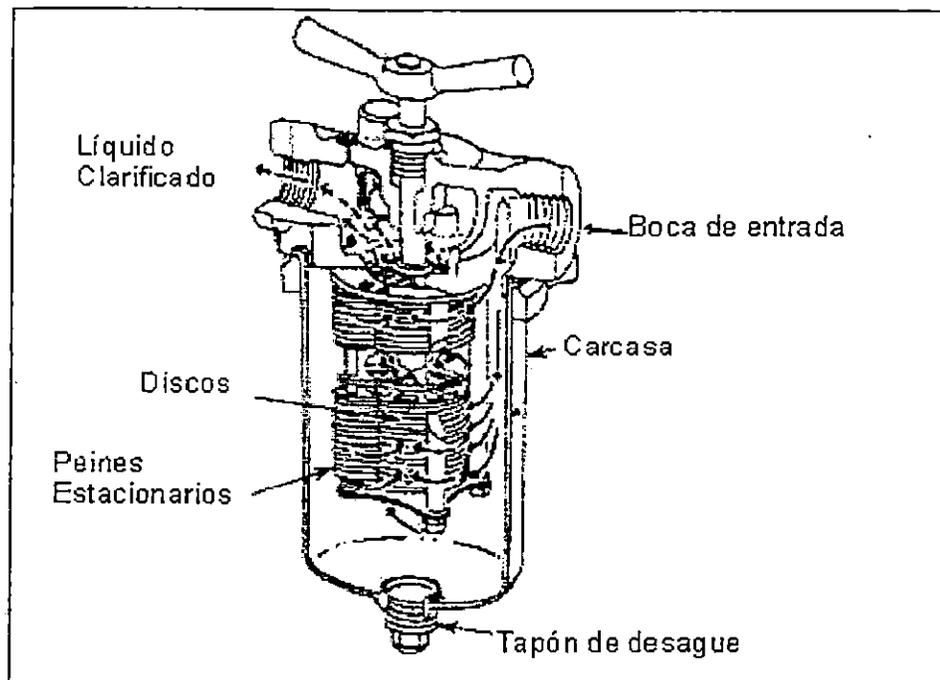


Fig. 1.3 . Filtro de Cartucho (McCabe, Smith ,1991)

costo y complejidad, así como su pequeño tamaño, limitan la aplicación a problemas especiales. Cuando no se puede usar la filtración a vacío hay que considerar también otros medios de separación, tales como filtros continuos centrífugos (McCabe y Smith, 1991).

1.2.3 Filtros Espesadores de Presión.

Según McCabe y Smith, (1991), objetivo de un filtro-espesador (Fig. 1.4), es separar parte del líquido contenido en una suspensión diluida para obtener otra concentrada. En apariencia el filtro-espesador parece un filtro prensa; sin embargo, no contiene marcos y las placas están modificadas.

Las placas sucesivas llevan canales apareados que forman, cuando se monta la prensa, una conducción larga en espiral para la suspensión. Este fluye continuamente a través del aparato, primeramente por los canales formados por las caras de las placas luego a través de una abertura y finalmente pasa entre las caras del par de placas contiguas. Los lados de los canales están recubiertos con un medio filtrante mantenido entre las placas. A medida que la suspensión pasa por el canal a presión, parte del líquido fluye a través del medio hasta unos canales en las caras de las placas y de allí va al distribuidor múltiple de descarga de líquido claro.

La suspensión así espesada se mantiene en movimiento suficientemente rápido para que no se obstruya el canal. Se escoge el número de placas de modo que la diferencia de presión en todo el aparato no exceda de 6 kg/cm^2 . En estas condiciones es posible, generalmente, duplicar la concentración de la suspensión de entrada, como por ejemplo, desde 5 por ciento de sólidos a la entrada hasta un 10 por ciento a la salida. Cuando se necesita un grado de concentración mayor, la suspensión parcialmente espesada en un filtro se introduce nuevamente en un segundo filtro para concentrarla más.

1.2.4 Filtros Discontinuos de Vacío.

Así como los filtros de presión son generalmente discontinuos, los de vacío suelen ser continuos. Sin embargo, a veces los filtros discontinuos de vacío pueden resultar útiles. Una nutcha de vacío es en realidad un embudo Buchner grande, con un diámetro de 1 a 3 m, que puede obtener una capa de sólidos de 10 a 30 cm de espesor.

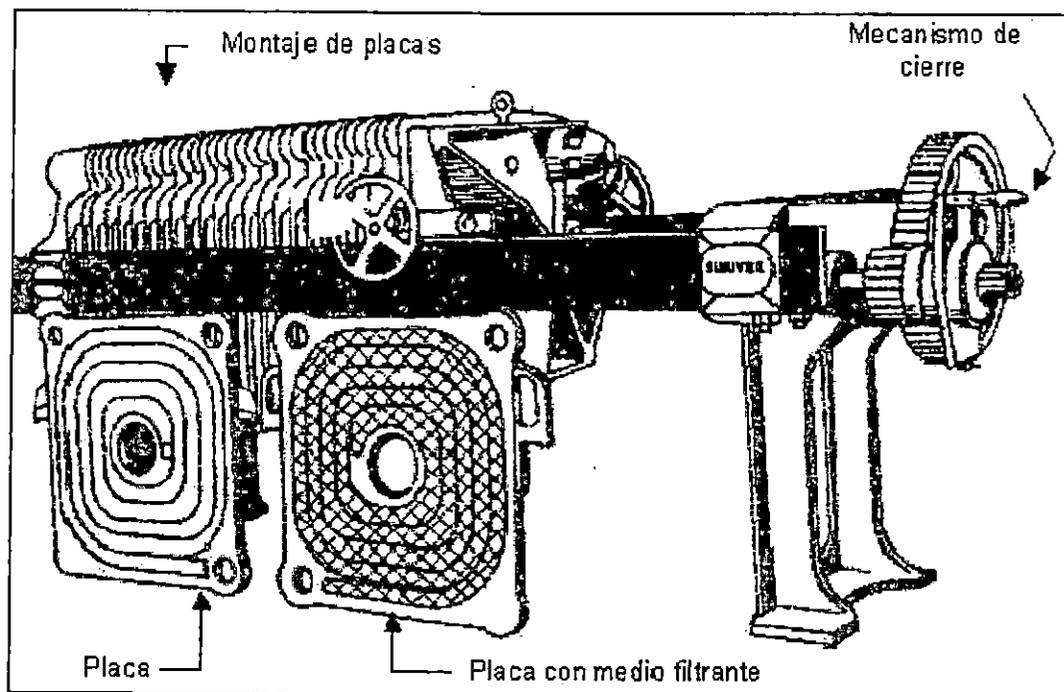


Fig. 1.4. Filtro Espesador de Presión (McCabe, Smith, 1985).

A causa de su simplicidad una nutchta puede fabricarse fácilmente con materiales anticorrosivos y es útil cuando hay que filtrar cargas experimentales de una variedad de materiales corrosivos. No se recomiendan las nutchtas para operaciones de producción a causa del elevado costo de mano de obra necesaria para retirar la torta de sólidos (McCabe y Smith, 1991).

1.2.5 Filtros Continuos de Vacío.

En todos los filtros continuos de vacío 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 saca 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, otra en la zona de lavado y otra en la zona de descarga de sólidos, de forma que tanto la descarga de sólidos como la de líquidos son continuas. La diferencia de presión a través del medio filtrante en un filtro continuo de vacío no es elevada, y ordinariamente está comprendida entre 25 y 50 cmHg. Los distintos tipos de filtros difieren en el modo de admisión de la suspensión, la superficie filtrante y la descarga de sólidos. Sin embargo, todos ellos aplican el vacío desde una fuente estacionaria de partes móviles del aparato, a través de una válvula rotatoria (McCabe y Smith, 1985).

El tipo más común de filtro continuo de vacío es el de tambor rotatorio (Fig. 1.5).

Un tambor horizontal de superficie acanalada gira con una velocidad de 0.1 a 2 rpm en un depósito que contiene la suspensión. Un medio filtrante, tal como lona, cubre la superficie del tambor, que esta parcialmente sumergido en el líquido. Debajo de la superficie acanalada del tambor principal se encuentra otro mas pequeño. Entre los dos tambores hay tabiques radiales que dividen el espacio anular en compartimentos separados, conectado cada uno mediante un tubo interno a un orificio situado en la placa rotatoria de la válvula giratoria. Se aplica alternativamente aire y vacío a cada compartimento a medida que gira el tambor. Una tira de tela filtrante cubre la cara expuesta de cada compartimento para formar una sucesión de paneles (McCabe y Smith, 1985).

1.2.6 Filtro Horizontal de Vacío.

Cuando es preciso lavar cuidadosamente sólidos que escurran fácilmente, y en especial cuando, por cualquier razón, debe ser fácilmente accesible la tubería del filtrado, puede usarse un filtro horizontal (Fig. 1.6). Este consiste en un depósito horizontal en forma de anillo que tiene un falso fondo recubierto con una tela plana.

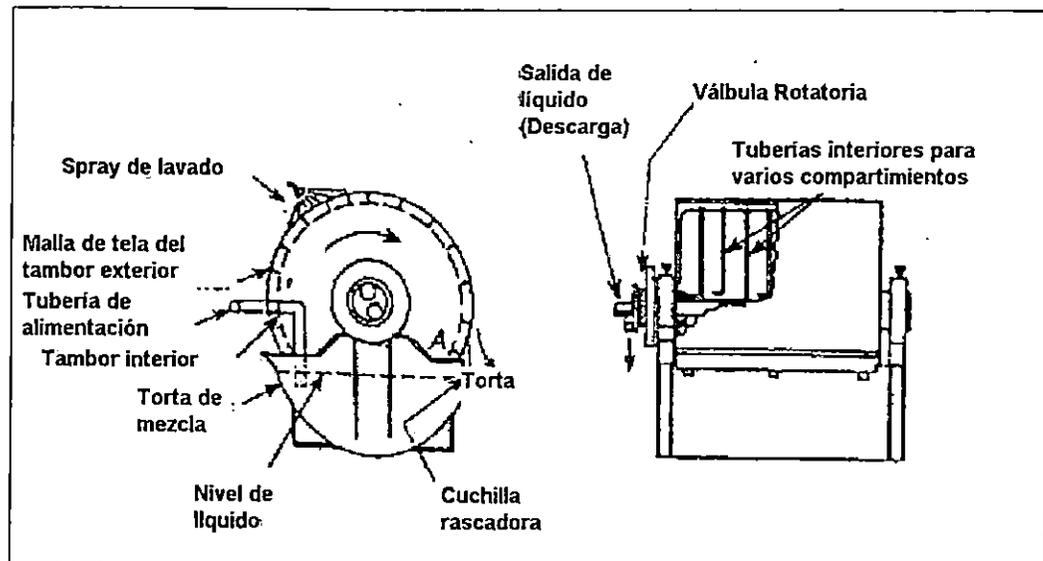


Fig.1.5. Filtro Rotatorio Continuo de Vacío, (McCabe y Smith, 1991)

El depósito gira lentamente alrededor de un eje central. El espacio por debajo del fondo falso está dividido en compartimentos, y una gran válvula rotatoria aplica vacío a cada compartimento y lo interrumpe a intervalos apropiados. El filtrado y cualquier líquido de lavado que puede rociarse sobre la torta durante su recorrido, son aspirados a través de la tela hasta los compartimentos y de allí salen a través de la válvula rotatoria. En el punto de descarga se suprime el vacío y se retiran los sólidos radialmente por medio de un rascador transportador helicoidal. Cada sección del filtro horizontal puede considerarse como una nutcha de vacío, que se somete sucesivamente a zonas de filtrado, lavado y secado. Los filtros horizontales tienen capacidad muy grandes cuando operan con sólidos que escurren fácilmente (McCabe y Smith, 1985).

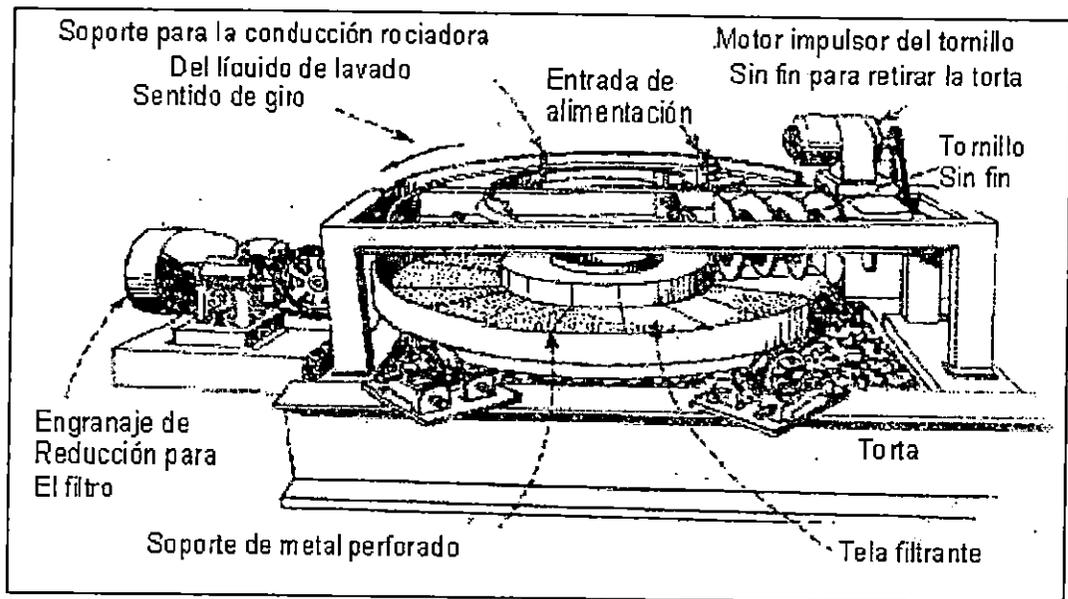


Fig. 1.6. Filtro Horizontal de Vacío (McCabe y Smith, 1985).

1.3 Medios Filtrantes

Todos los filtros requieren un medio filtrante para la retención de sólidos, ya sea que el filtro esté adaptado para la filtración de torta, medio de filtración o filtración de profundidad. La especificación de un medio de filtración está basado en la retención de un tamaño mínimo de partícula y eficiencia de separación, así como también en un término aceptable de vida del medio filtrante dentro del medio ambiental del filtro. La elección del medio de filtración es, con frecuencia, la consideración más importante para asegurar el funcionamiento satisfactorio de un filtro. Para la filtración de la torta, la selección del medio filtrante incluye la optimización de los siguientes factores:

- a) Capacidad para detener los sólidos sobre sus poros con rapidez, después de que se inicia la alimentación (propensión mínima a las purgas).
- b) Velocidad baja de arrastre de sólidos dentro de sus intersticios (Propensión mínima a los atascamientos).
- c) Resistencia mínima al flujo de filtrado (velocidad elevada de producción).
- d) Resistencia a los ataques químicos.
- e) Suficiente resistencia para sostener la presión de filtración.
- f) Resistencia aceptable al desgaste mecánico.
- g) Capacidad para descargar la torta con facilidad y limpieza.
- h) Capacidad para conformarse mecánicamente al tipo de filtro con el cual se utilizará.
- i) Costo mínimo.

Para la filtración con medios filtrantes, se aplican los atributos c, d, e, h, i de la lista anterior y es preciso agregarles a) capacidad para retener los sólidos que se requieren, b) libertad de descarga de pelusa o algún otro material adulterador en el filtrado, y c) capacidad para no atascarse con rapidez (larga duración) (Jacobs, L., et al., 1995).

En la selección del medio filtrante se incluyen innumerables tipos de telas, tejidos de fibras, fieltro o fibras no tejidas, y sólidos porosos o perforados, membranas Poliméricas o sólidos Particulados en forma de un lecho permeable. Las características de las mismas se encuentran detallados en el cuadro 1.1.

En la filtración industrial el medio filtrante ordinario es lona. Existen muchos tipos y espesores diferentes de tejidos para las distintas aplicaciones.

Los líquidos corrosivos requieren el uso de otros medios filtrantes, tales como tela de lana, tela metálica de acero inoxidable o metal monel, tela de vidrio, o papel. Los

tejidos sintéticos tales como Nylon, Sarán, Polipropileno, Dacrón, etc., son también químicamente muy resistentes.

En una tela de un tamaño de malla dado las fibras sintéticas lisas y las metálicas son menos efectivas para retener partículas muy finas que los materiales naturales más fibrosos. Sin embargo, ordinariamente, esto solo es una desventaja al comienzo de la filtración porque, excepto con partículas gruesas y duras que no contienen finos, el medio de filtración real es la primera capa de sólidos depositados. El filtrado puede pasar primero turbio, pero luego se hace claro. El filtrado turbio se retorna al depósito de la suspensión para volver a filtrarlo (McCabe y Smith, 1985)

1.3.1 Telas de Fibras Tejidas.

Para la filtración de torta estas telas son el tipo más usual de medio filtrante. Existe gran variedad de materiales y los tipos más usuales se encuentran enumerados en el cuadro 1.1, con sus factores de resistencia química y temperatura. Aparte del material de las fibras, ciertas características de construcción describen la tela filtrante, a saber: 1) tejido, 2) estilo, 3) peso, 4) cuenta, 5) pliegues, y 6) número de hilaza. De los muchos tipos de tejidos disponibles sólo cuatro son utilizados en forma amplia como medios filtrantes: lisos (cuadrados), tejido, sarga, tejido de cadena y satín.

Todos estos tejidos se pueden confeccionar a partir de cualquier fibra textil, natural o sintética. Se pueden tejer de hilazas de multifilamentos o monofilamentos continuos (Jacobs, L., et al., 1995).

CUADRO 1.1. Características Físicas y Químicas de los Medios Filtrantes*

Nombre genérico y descripción	Resistencia a la ruptura g/denier	Resistencia al desgaste	Resistencia a los ácidos	Resistencia a los álcalis	Resistencia a los agentes oxidantes	Resistencia a los disolventes	Peso específico	Temperatura operacional máxima °F
Acetato: acetato de celulosa. Cuando no menos del 92 % de los grupos hidroxilo estén acetilados, se puede utilizar el término genérico "triacetato".	1.2-1.5	G	F	P	G	G	1.33	210
Acrílico: cualquier polímero sintético de cadena larga compuesto al menos en un 85% en peso por unidades de acrilonitrilo.	2.0-4.8	G	G	F	G	E	1.18	300
Vidrio: la sustancia que forma las fibras es vidrio.	3.0-7.2	P	E	P	E	E	2.54	600
Metálico: compuesto de metal, plástico recubierto de metal, metal recubierto de plástico o un núcleo cubierto todo de metal.	G						
Modacrílico: la sustancia que forma la fibra es cualquier polímero sintético de cadena larga compuesto por menos del 85%. Pero al menos el 35%. En peso de unidades de acrilonitrilo.	2.5-3.0	G	G	G	G	G	1.30	1.80
Nylon: cualquier poliamida sintética de cadena larga con grupos amida repetidos como parte integrante de la cadena polimérica.	3.8-9.2	E	F-P	G	F-P	G	1.14	225

1* E = excelente, G = bueno, F = regular, P = pobre.
(Jacobs, L., et al., 1995).

Pasa ...

CUADRO 1.1. Características Físicas y Químicas de los Medios Filtrantes

Nombre genérico y descripción	Resistencia a la ruptura g/denier	Resistencia al desgaste	Resistencia a los ácidos	Resistencia a los álcalis	Resistencia a los agentes oxidantes	Resistencia a los disolventes	Peso específico	Temperatura operacional máxima °F
Poliéster: cualquier polímero sintético de cadena larga compuesto al menos en un 85% en peso por un éster de un alcohol dihidrico y ácido tereftálico (p-HOOC-C ₆ H ₄ -COOH).	2.2-7.8	E-G	G	G-F	G	G	1.38	300
Poliétileno: polímero sintético de cadena larga compuesto al menos en un 85% en peso por etileno.	1.0-7.0	G	G	G	F	G	0.92	165
Polipropileno: Polímero sintético de cadena larga compuesto al menos en un 85% en peso por propileno.	4.8-8.5	G	E	E	G	G	0.90	250
Rayón: compuesto por celulosa regenerada y fibras fabricadas con celulosa regenerada en las que las sustituyentes han reemplazado a no más del 15% de los grupos hidroxilo.	1.5-5.7	G	P	F-P	F	G	1.52	210
Saran: la sustancia que forma la fibra es cualquier polímero sintético de cadena larga compuesto al menos en un 80% en peso por unidades de cloruro de vinilideno (-CH ₂ -CCl ₂ -)	1.0-2.3	G	G	G	F	G	1.70	160
Algodón: fibras naturales.	3.3-6.4	G	P	F	G	E-G	1.55	210

1* E = excelente, G = bueno, F = regular, P = pobre.
(Jacobs, L., et al., 1995).

1.3.2 Telas Metálicas o Cedazos.

Existen en varios tipos de tejidos en níquel, cobre, latón, bronce, aluminio, acero, acero inoxidable, Monel, y muchas otras aleaciones. En el tejido liso, el espaciamiento más cerrado del alambre que existe es el de malla 400, lo cual limita el empleo de este tejido con las pulpas, las lechadas cristalinas gruesas, etc. Los llamados "tejidos holandeses" emplean alambres largos y rectos, relativamente anchos y de espaciamiento recto que permiten que el relleno, torcido y relativamente pequeño, se pueda tejer en forma mucho más cerrada, proporcionando un buen medio para la filtración de pulpas y cristales finos. Sin embargo, este tipo de tejido tiende a atascarse con facilidad cuando se filtran partículas suaves y amorfas; utilizando la filtración conveniente se simplifica este problema. La gran resistencia a la corrosión y a la alta temperatura mediante la selección adecuada de metales, hace que en filtraciones hechas con medios filtrantes metálicos sean recomendables, sobre todo por su larga vida. Esta ventaja se acentúa muy especialmente cuando se manejan materias tóxicas en filtros cerrados en que es menester una exposición mínima de personal de mantenimiento (Jacobs, L., et al., 1995).

1.3.3 Filtros Prensados y Borra de Algodón.

Estos materiales se utilizan para filtrar partículas gelatinosas de pinturas, soluciones de hilados y otros líquidos viscosos. La filtración se produce mediante la deposición de las partículas sobre las fibras a través de la trama.
(Jacobs, L., et al., 1995).

1.3.4 Tramas no Tejidas.

Los productos textiles no tejidos se construyen a partir de una masa fibrosa homogénea, al contrario de los tejidos y por lo mismo masa fibrosa heterogénea. Los textiles no tejidos incluyen productos como fieltro de lana, telas ligadas térmicamente y filtros mecánicamente entrelazados. Su característica común es que son elaboradas de fibras individuales (1 a 3 pulgadas de longitud) procesadas en equipo textil para producir una bateada fibrosa uniforme; su estructura, por lo tanto, tiene una distribución homogénea de fibra en las tres dimensiones. Dichas fibras suelen ser fibras sintéticas como poliéster, Nylon, o poliolefinas. Estas tramas son autoadheribles en capas que preceden a la extrusión de la fusión; son más ligeras y más delgadas que los fieltros y a menudo se utilizan en multicapas. El peso de la trama puede variar entre 14 a 369 g/m² (0.4 a 10.9 oz/yd²). En la gama de bajo peso se emplean para la filtración por gravedad de aceites ligeros, mientras que las de mayor peso son utilizadas para fluidos muy viscosos y para separar partículas tan pequeñas como de 5 µm de diámetro (Jacobs, L., et al., 1995).

1.3.5 Papeles de Filtro.

Estos papeles se suministran en una amplia gama de permeabilidad, espesor y resistencia. Por lo que se refiere a las características de este material, poseen baja resistencia; sin embargo, requieren una placa de fondo como soporte. (Jacobs, L., et al., 1995).

1.3.6 Medios Porosos Rígidos.

Estos medios se encuentran disponibles en hojas o placas y en tubos. Los materiales utilizados incluyen acero inoxidable sinterizado y otros metales, grafito,

óxido de aluminio, sílice, porcelana y algunos plásticos, gama que permite un amplio intervalo de resistencia a la temperatura y a los productos químicos. La mayor parte de las aplicaciones son para la clarificación (Jacobs, L., et al., 1995).

1.3.7 Membranas Poliméricas.

Estas membranas se utilizan en las aplicaciones de filtración para la separación de partículas finas, por ejemplo, en la microfiltración y ultrafiltración (la clarificación incluye la eliminación de partículas de 1 μm y menores). Las membranas se fabrican con diversos materiales y los más comunes son los acetatos de celulosa y las poliamidas (Jacobs, L., et al., 1995).

1.3.8 Lechos Granulares de Sólidos Particulados.

Los lechos de sólidos, por ejemplo, arena o carbón, se utilizan como medio filtrante para la clarificación de aguas o soluciones químicas que contienen pequeñas cantidades de partículas en suspensión. Se pueden adquirir los gránulos para filtro con el diámetro de partícula deseado. Con frecuencia, los lechos se fabrican en capas de diferentes materiales y varios tamaños de partícula (Jacobs, L., et al., 1995).

1.4. Coadyuvantes de Filtración

Los sólidos muy finos o en forma de lodos, que forman una torta densa e impermeable, obturan rápidamente cualquier medio filtrante que sea lo suficientemente fino para retenerlos. La filtración práctica de tales materiales requiere que la porosidad de la torta se aumente para permitir el paso del líquido con una velocidad razonable. Esto se hace añadiendo a la suspensión, antes de la filtración, coadyuvantes, o ayudas de filtración, los cuales son sólidos granulares o

fibrosos capaces de formar una torta de alta permeabilidad, manteniéndola relativamente abierta para el flujo y suministrando de manera continua una gran superficie para la adhesión de los sólidos finamente divididos en la que se pueden retener los flóculos deformables y los sólidos muy finos y pastosos, lo cual permite utilizar un medio filtrante mucho más permeable que el requerido para la clarificación, con objeto de producir un filtrado de la misma calidad por filtración profunda. El coadyuvante de filtración puede separarse a continuación de la torta disolviendo los sólidos o quemando el coadyuvante. Si los sólidos no tienen valor se desechan junto con el coadyuvante de filtración. Esta acción resulta valiosa en particular para filtrar sólidos coloidales, que forman una torta muy densa y compresible que no se va a recuperar (Foust, et al., 1987).

La cantidad agregada se determina mediante pruebas, pero puede ser igual al doble de la cantidad de sólidos a eliminar. Para cargas de sólidos mayores a 1,000 ppm, esto puede ser un factor significativo de costo (McCabe y Smith, 1985).

Otra forma de usar un coadyuvante de filtración es por recubrimiento, o sea, depositando una capa sobre el medio de filtración antes de la operación. En los filtros discontinuos la capa de recubrimiento previo es generalmente delgada, de aproximadamente 0.5 a 1 kg/m² (0.1 a 0.2 lb/pie²), y se usa principalmente para proteger dicho medio del ensuciamiento, producido por los sólidos atrapados antes de que lleguen al medio filtrante. También proporcionan una matriz más fina para retener los sólidos finos y asegurar la claridad del filtrado. En un filtro continuo, como se dijo anteriormente, la capa es gruesa y su superficie se rasca continuamente con una cuchilla móvil, para exponer una nueva superficie filtrante. El recubrimiento es realmente una parte del medio filtrante y no de la torta (McCabe y Smith, 1985).

Las ayudas para la filtración según Jacobs, L., et al.,(1991), deben ser de baja densidad global, para minimizar su tendencia al asentamiento y ayudar a la buena distribución sobre la superficie de un medio filtrante que no sea horizontal. Deben

ser porosas y capaces de formar una torta porosa para minimizar la resistencia al flujo, y deben ser químicamente inertes al filtrado. Esas características tienen las dos ayudas comerciales de filtración que más se emplean: la sílice diatomácea (denominada también diatomita y tierra diatomácea), una sílice casi pura, preparada a partir de yacimientos de esqueletos diatomáceos y perlita dilatada, partículas de lava "hinchada", que son principalmente de silicato alcalino de aluminio. En ocasiones se utilizan fibras de celulosa (pulpa de madera molida) cuando no se pueden utilizar los materiales a base de sílice, pero son mucho más compresibles. El empleo de otras ayudas de filtración menos eficaces (como carbón o yeso) se justifica en casos especiales. A veces, una combinación de carbón y sílice de diatomáceas permite la adsorción además de ser ayuda para la filtración.

a) Sílice de diatomáceas. Las ayudas para la filtración de sílice de diatomáceas tienen una densidad global en seco de 128 a 320 k/m^3 (8 a 20 lb/pie^3), contienen partículas que en su mayor parte son menores de 50 μm y producen una torta con una porosidad de alrededor de 0.9 (volumen de espacios vacíos/volumen total de la torta filtrante). La elevada porosidad (en comparación con una porosidad de 0.38 para las esferas uniformes empacadas al azar, y 0.2 a 0.3 para las tortas filtrantes características) indica su capacidad para comportarse como ayuda para el filtrado. Los diferentes métodos de procesamiento de la diatomácea natural da por resultado una serie de ayudas para filtración que tienen un amplio intervalo de permeabilidad.

b) Perlita. Las ayudas para el filtrado a partir de perlita tienen, hasta cierto punto, una densidad global menor (48 a 96 kg/m^3 o 3 a 6 lb/pie^3) que la sílice de diatomáceas y contienen una fracción mayor de partículas en el intervalo de 50 a 150 μm . La perlita también se encuentra disponible en varios grados, que difieren en permeabilidad y costo. Dichos grados son aproximadamente semejantes a los de la sílice de diatomáceas.

Sin embargo, la sílice de diatomáceas soporta niveles de pH ligeramente más extremos que la perlita y se dice que hasta cierto punto es menos compresible.

Cuando se requiere lavar la torta, especialmente en los filtros prensas, es necesario que esta sea uniforme con el objeto de obtener una igual distribución del agua de lavado. Si las partículas en la suspensión de alimentación no son homogéneas en forma y tamaño, por ejemplo, cuando ayuda filtrante ha sido agregada, la alimentación debe mantenerse en agitación durante la filtración. De otra manera las partículas más pesadas sedimentarán y se acumularán en el inferior de la placa mientras que las partículas más finas las cuales se filtran con menos facilidad estarán en la parte superior. En tal caso la parte superior se lavará bien mientras que la inferior no (Chemical Series, 1937).

1.5 Filtro Prensa de Placas y Marcos

El filtro prensa es uno de los dispositivos de filtración industrial más antiguo que aún se encuentra en uso, surgieron en sus primeras formas un poco después de la revolución industrial a comienzos del siglo XIX. El diseño básico es simple; y con cambios relativamente pequeños en diseño, el filtro prensa ha sido usado exitosamente en casi todas las aplicaciones industriales de filtración en sus 150 años de historia (The Hilliard Co., 1997).

El filtro prensa es un aparato de separación líquido/sólido. Este contiene una serie de láminas con una malla filtrante. Un cierre es requerido el cual puede ser manual o hidráulico. El cierre, contiene y controla una lámina guía, presionando las demás láminas, creando así un sello. Las partículas son atrapadas entre las láminas, permitiendo que el líquido filtrado sea descargado y los sólidos colectados como una torta comprimida (PHOENIX Process Equipment Co., 1997).

Una bomba alimentadora es utilizada para forzar el líquido a través del medio dejando los sólidos atrapados dentro de este. Esta filtración ocurre simultáneamente a través de todas las hojas de material filtrante las cuales funcionan como un grupo de filtros paralelos. Comparados con otros filtros a presión, el filtro prensa retiene mas sólidos por pie cuadrado de área de superficie filtrante que cualquier otro (The Hilliard Co., 1997).

El filtro prensa ha sido el aparato más común en la industria química. Aunque está siendo reemplazado en las industrias grandes por aparatos de filtración continua, tiene las ventajas de un bajo costo inicial, muy poco mantenimiento y gran flexibilidad. Por otra parte, las necesidades de desarmarlo con gran periodicidad en forma manual representa un requerimiento de mano de obra que con frecuencia es excesivo (Foust, et al., 1991).

Según Foust, et al., (1991), el filtro prensa esta diseñado para llevar a cabo una variedad de funciones, cuya secuencia se controlan en forma manual. Durante la filtración el equipo:

- a) Permite la alimentación de una suspensión alimentada a la superficie de la prensa a través de su propio conducto.
- b) Permite forzar a la suspensión alimentada contra la superficie del filtro.
- c) Permite que el filtrado que ha pasado por la superficie del filtro salga a través de su propio conducto, mientras que
- c) Retiene los sólidos que estaban originalmente en la suspensión.

Según Foust, et al., (1987), durante la secuencia de lavado la prensa :

- a) Permite el suministro de agua de lavado a los sólidos filtrados, a través de su propio conducto .

- b) Permite forzar el agua de lavado a través de los sólidos retenidos en el filtro .
- c) Permite que el agua de lavado y las impurezas salgan a través de un conducto separado.

La mayor parte de los diseños comunes de filtros prensa consisten en un montaje alternado de placas cubiertas en ambos lados con un medio filtrante que, por lo general, es tela, y marcos huecos, que proporcionan el espacio necesario para la acumulación de la torta durante la filtración.

La fig. 1.7 muestra un par de placa y marco; la fig. 1.8 es un diagrama de filtro prensa el cual se encuentra en operación.

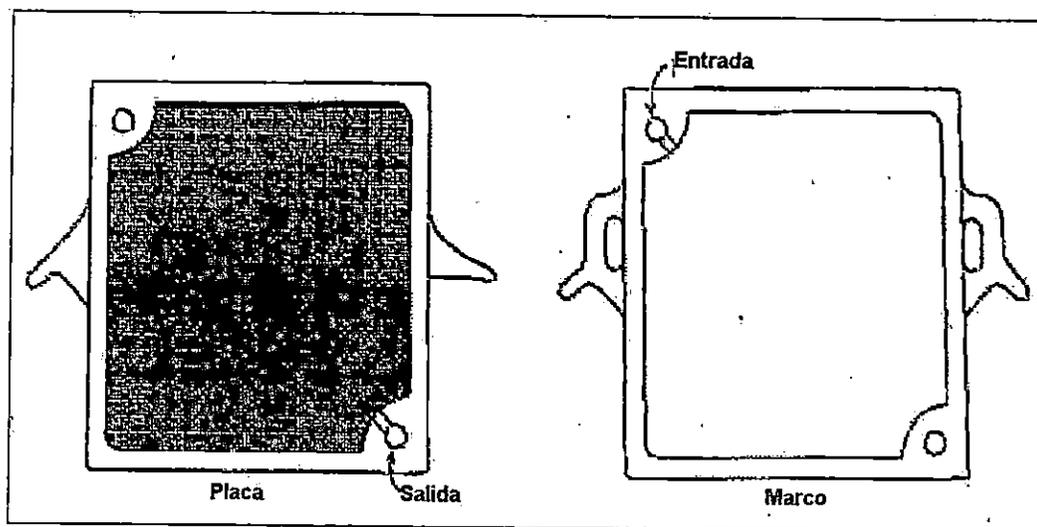


Fig. 1.7. Representación Gráfica del Par Marco – Placa de un Filtro de Presión(Foust, et al., 1987)

Para armar la prensa se sostienen en forma alterna los platos y marcos en los rieles laterales de la prensa, usando las asas laterales de las placas y marcos. Los marcos y placas están colgados en un par de barras de apoyo horizontales y se prensan, durante la filtración, para formar un cierre a prueba de agua entre las dos placas terminales, una de las cuales es estacionaria.

En los marcos existen agujeros para la alimentación y el lavado, en tanto que las placas tienen agujeros para el drenado del filtrado. Por lo general, los marcos y placas son rectangulares; sin embargo, también se utilizan las circulares y de otras formas. El medio filtrante se mantiene entonces sobre las placas, cubriendo de esta manera ambas caras de la misma. Se cortan orificios en la tela para coincidir con las perforaciones de las placas y marcos.

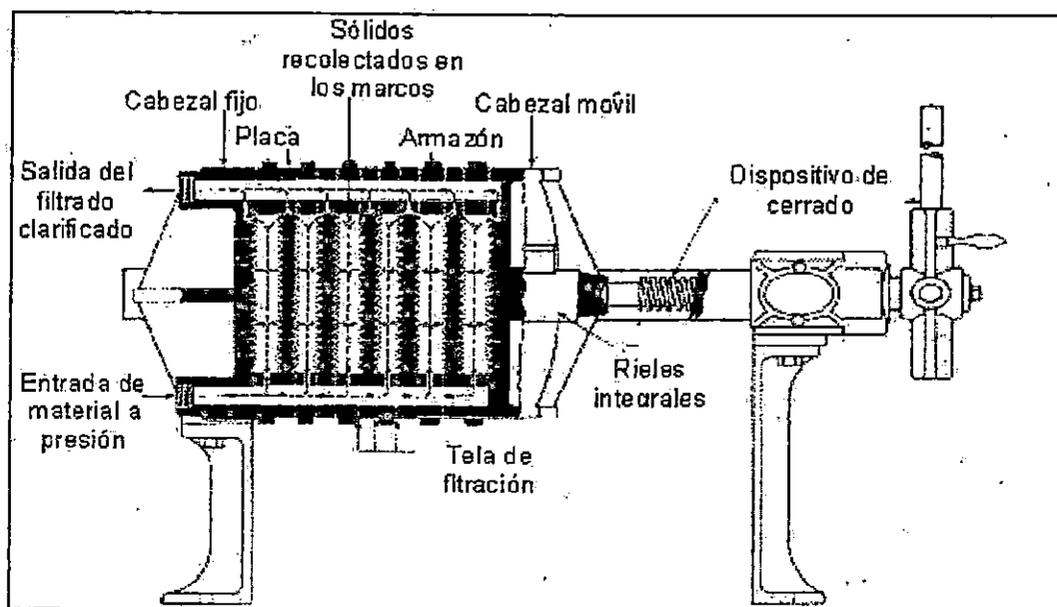


Fig.1.8 Diagrama de Filtro Prensa en Operación (Foust, et al., 1987)

Si se utiliza tela, puede ser necesario pre-encoger el medio, de manera que los orificios continúen coincidiendo. Cuando las telas de filtrado están alineados con las placas y marcos, la prensa se cierra con un tornillo de mano o, en las unidades muy grandes, con aparatos de cerrado hidráulico o eléctrico. Cuando la prensa esta cerrada, el medio filtrante actúa como un empaqué, sellando las placas y marcos y formando un canal de flujo continuo de los agujeros en las placas y marcos, tal como se muestra en la fig. 1.8. Entonces se bombea a presión la suspensión de alimentación a la presa y fluye, en las prensas de las fig. 1.7 y 1.8, por el conducto de la esquina inferior. Este conducto tiene salida en cada uno de los marcos, de manera que la suspensión los llena en paralelo. El disolvente o filtrado fluye entonces a través del medio filtrante, mientras que los sólidos se acumulan en una capa en el lado del marco del medio. El filtrado fluye entre la tela filtrante y la superficie de la placa que esta hacia un conducto de salida. A medida que se verifica la filtración, las tortas se acumulan en las telas del filtrado, hasta que estas tortas que se están formando en ambas caras del marco se juntan en el centro. Cuando esto sucede el flujo de filtrado, que ha ido disminuyendo en forma continua a medida que la torta crece, disminuye de manera abrupta a un goteo. Por lo general, la filtración se detiene después de que esto ocurre. En muchos casos es deseable lavar la torta del filtro a fin de eliminar el disolvente atrapado en ella o disolver las impurezas que tenga. (Foust, et al., 1987).

Existen varias disposiciones para la alimentación y la descarga del filtrado. En la más común, la alimentación y la descarga de los diferentes elementos de la prensa desembocan en un múltiple a través de algunos de los agujeros que están en las cuatro esquinas de cada uno de los marcos y placas (y de la tela filtrante), para formar canales longitudinales continuos desde la placa terminal estacionaria hasta el otro extremo del filtro prensa. En forma opcional, el filtrado se puede drenar de cada placa por medio de una válvula y un grifo individuales (para descarga abierta

o un tubo (para descarga cerrada). La alimentación por la parte superior y la descarga por el fondo de las cámaras proporcionan recuperación máxima del filtrado y el secado máximo de la torta. Este arreglo es adecuado, sobre todo, para los sólidos pesados que se sedimentan rápidamente. En la mayor parte de los precipitados, la alimentación por la parte interior y la descarga de filtrado por la superior permiten un rápido desplazamiento del aire y producen una torta más uniforme (Jacobs, L., et al., 1995).

En los filtros prensa de placas y marcos se utilizan dos técnicas de lavado según lo muestra la fig. 1.9. En el lavado simple, el licor de lavado sigue la misma trayectoria que el filtrado. Si la torta no es muy uniforme y altamente permeable, este tipo de lavado no es eficaz en un filtro prensa bien lleno. Una técnica mejor consiste en un lavado completo en el cual el lavado se introduce a las caras de las placas alternadas (con las válvulas de los canales de descarga cerradas). El lavado cruza toda la torta y sale a través de las caras. Esta técnica mejorada requiere un diseño especial y el montaje de las placas en el orden adecuado. El lavado completo sólo debe utilizarse cuando los marcos están bien llenos; un llenado incompleto de la torta permitirá que ésta se caiga durante la entrada del lavado. El resto del flujo de lavado se desviará por las grietas o canales abiertos en la torta (Jacobs, L., et al., 1995).

Los filtros prensa pueden fabricarse con cualquier material de construcción que se desee, como madera, acero inoxidable, acero al carbón y hule. Puede construirse para presiones de la suspensión hasta de 1000 lb/plg² abs. Pueden manejar la filtración de suspensiones pesadas o "pulir" un líquido que contenga solo una pequeña cantidad de precipitado. Para filtraciones en las que solo va a manejarse una pequeña cantidad de precipitado, se pueden manejar placas huecas, eliminando así la necesidad de los marcos. Los filtros prensa se fabrican en tamaños de placas

que varían desde 10 por 10 cm (4 por 4 pulgadas) hasta 1.5 por 1.8 m (61 por 71 pulgadas). El espesor de los marcos varía desde 0.3 hasta 20 cm (0.125 a 8 pulgadas). Son comunes las presiones de operación hasta de 730 kPa (100 psig), pero existen algunos filtros prensa diseñados para operar a 7.8 Mpa (1000 psig). Algunas unidades de metal tienen placas centrales para vapor o refrigerante.

La presión máxima de operación para los marcos de plástico o madera es 500 a 600 kPa (60 a 70 psig). Algunos cuentan con dispositivos mecánicos para abrir la prensa, para mover cada placa de manera que pueda dejarse caer la torta y para cerrar la prensa. Por consiguiente, un filtro prensa grande puede manejarse usando solo un operador cuyo trabajo sería detener el ciclo automático y separar la torta cuando esta permanece adherida al separar la placa; a pesar de esta automatización, los filtros prensas tienen una operación inevitablemente cíclica y, por tanto, se utilizan por lo general en procesos intermitentes o procesos con bajas velocidades de producción (Foust, et al., 1987).

El filtro prensa moderno ha probado ser el aparato más eficiente de filtración disponible en el mercado. Debido a que él opera a una mayor diferencia de presión, el filtro prensa produce tortas con contenidos de humedad más bajos que los filtros de tambor rotatorios de vacío o los filtros "belt".

Esta diferencia de presión hace que los filtros prensa sean más rendidores que una centrifuga y permite producir una torta consistente con alto contenido de sólidos, aun en condiciones de inconsistencia en la alimentación. El filtro prensa es típicamente menos costoso de instalar que el filtro de tambor rotatorio de vacío, "belt press" o centrifugas. Es significativamente menos caro y fácil de mantener y operar que los otros tres, y su vida útil ha sido probada una y otra vez de ser mayor (The Hilliard Corporation, 1997)

1.6 Teoría de la Filtración

La filtración ha evolucionado como un arte práctico, en vez de desarrollarse como una ciencia teórica. Sin embargo, la teoría de la filtración ha recibido una atención continua desde hace medio siglo. Los esfuerzos teóricos han consistido, principalmente, en la cuantificación de la relación común de velocidad de filtración (Jacobs, L., et al., 1995).

$$\text{Velocidad} = \text{fuerza de impulso} / \text{resistencia}$$

Donde, para el caso general de la filtración, la resistencia es la suma de la resistencia del medio filtrante, tuberías, accesorios y la de la torta. En años recientes se ha incrementado la aplicación de la teoría a los problemas industriales (Jacobs, L., et al., 1995).

La teoría de la filtración, aunque nunca se utilizó como base exclusiva para el diseño de un filtro para una operación dada, es valiosa para interpretar análisis de laboratorios, buscar las condiciones óptimas de filtración y predecir los efectos de los cambios en las condiciones operacionales. El empleo de la teoría de la filtración está limitado por el hecho de que las características de filtración se deben determinar siempre en la lechada real de que se trate, puesto que los datos obtenidos con una lechada no son aplicables a otra. Esto es cierto si consideramos la naturaleza y el historial de las partículas sólidas y su interacción, cuya complejidad empieza a recibir la atención necesaria (Jacobs, L., et al., 1995).

Una vez que se forma la capa de películas sólidas en el medio filtrante, su superficie actúa como medio filtrante, de modo que los sólidos se depositan y se agregan al

espesor de la torta, mientras que el licor claro pasa por ella.

Por consiguiente, la torta se compone de una masa a granel de partículas de formas irregulares, por entre las cuales corren canales pequeños. El flujo de licor a través de los canales es siempre aerodinámico y, por tanto, se puede representar por medio de la ecuación de Poiseuille, que se adapta en la forma

$$\frac{dV}{Ad\theta} = \frac{P}{\mu \left[\alpha \left(\frac{W}{A} \right) + r \right]} \quad (1.1)$$

Donde :de acuerdo a Jacobs, L., et al., (1995).

dV : Velocidad diferencial o instantánea de filtración.

$d\theta$: Tiempo diferencial de filtración

A : Unidad de área.

P : Presión

μ : Viscosidad

α : Resistencia específica promedio de la torta

W : Masa de sólidos acumulados en la torta seca

r : Resistencia del medio de filtración

La velocidad de filtración se expresa adecuadamente en función del volumen de filtrado recogido V , el área de la superficie de filtración A y el tiempo θ . P es la caída total de presión en el medio de filtro y la torta depositada en él. La viscosidad es la del filtrado (Jacobs, L., et al., 1995).

La velocidad se puede expresar también en términos de W , la masa de sólidos

acumulados en la torta seca, correspondiente a producto de $w.V$ se relaciona con V mediante un balance simple de materiales, de modo que:

$$W = w.V \quad (1.2)$$

$$: W = \frac{\rho c V}{1 - mc} \quad (1.3)$$

Donde según Jacobs, L., et al., (1995).

V : Volumen de filtrado recogido

w : Masa de sólidos de la torta seca por unidad de volumen de filtrado

ρ : Densidad del filtrado

c : Fracción de masa de los sólidos de la torta en la lechada
(o suspensión)

m : Relación de masas de la torta húmeda respecto a la seca.

El parámetro " α " representa la resistencia específica promedio de la torta, que es constante para la torta particular en sus condiciones inmediatas. En la gama habitual de condiciones de operación, se relaciona con la presión mediante la expresión:

$$\alpha = \alpha' P^S \quad (1.4)$$

Donde :

α' : es una constante empírica determinada en gran parte por el tamaño de las partículas que forman la torta.

S : factor de compresibilidad de la torta, que varía de cero para las tortas incompresibles, como las de diatomita y arena fina, a 1.0 para las tortas

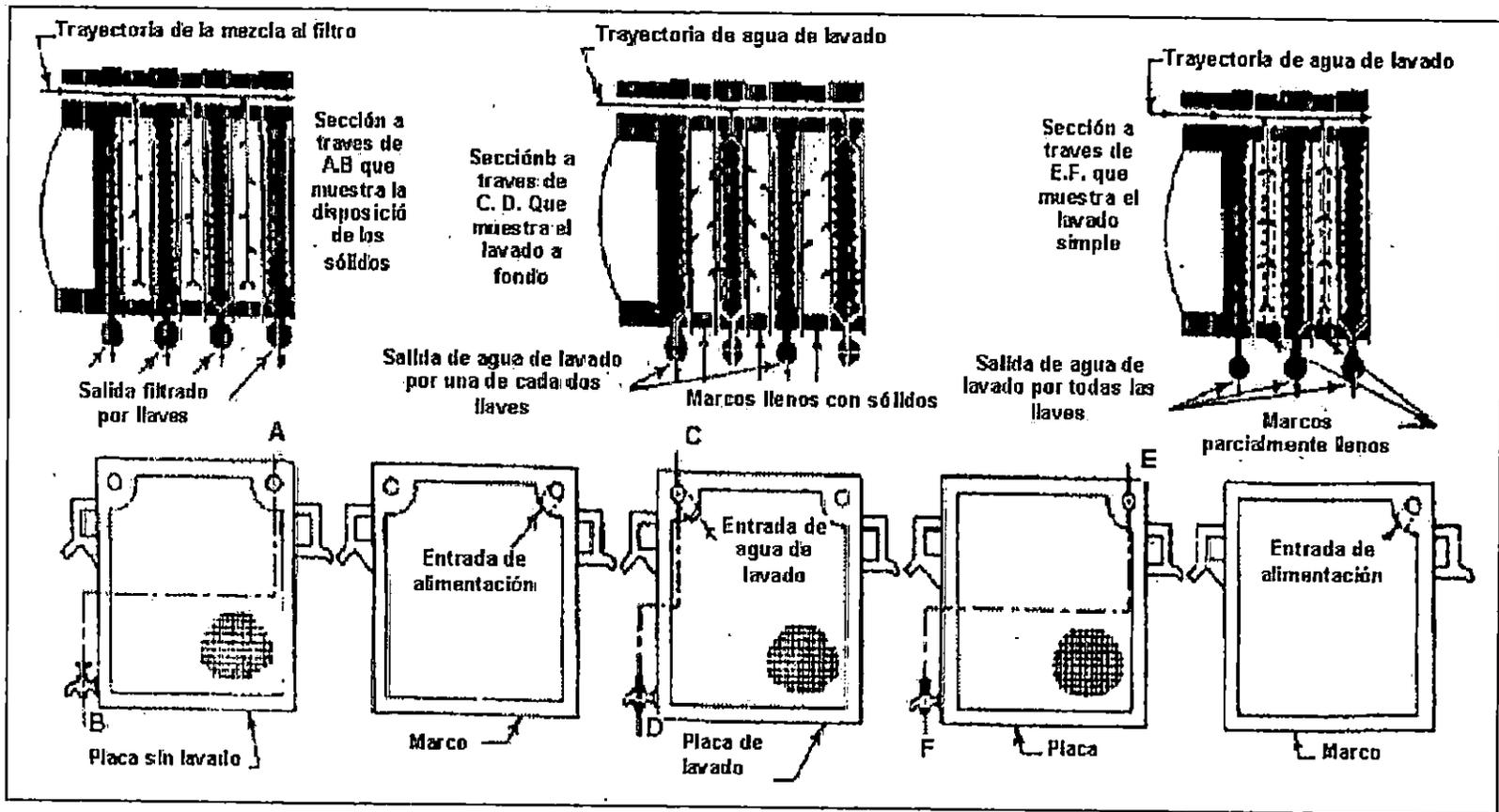


Fig.1.9. Patrones de Llenado y Flujo de Lavado en un Filtro Prensa(Jacobs, L., et al., 1995).

El parámetro r representa la resistencia del área unitaria del medio de filtración, pero incluye otras pérdidas (aparte de las que se producen a través de la torta y el medio como las pérdidas por la tubería) en el sistema, donde P es la caída de presión total (Perry, et, al, 1995).

Para utilizar las ecuaciones (1.2 y 1.3) según Jacobs, L., et al., (1995). es necesario conocer el patrón del proceso de filtración, es decir, la variación de la velocidad de flujo y la presión con respecto al tiempo. Por lo general, el mecanismo de bombeo determina las características del flujo de filtración y sirve de base a las tres categorías siguientes:

- a) **Filtración a presión constante.** El mecanismo de impulso es gas comprimido, que se mantiene a una presión constante.
- b) **Filtración a velocidad constante.** Se utilizan varios tipos de bombas de desplazamiento positivo.
- c) **Filtración a presión y velocidad variable.** El empleo de una bomba centrífuga da por resultado este patrón: la velocidad de descarga disminuye al incrementarse la contrapresión.

En la fig. 1.10, aparece el comportamiento de la velocidad de flujo y la presión para estos tres tipos de filtración. Dependiendo de las características de la bomba centrífuga, se obtienen curvas que difieren ampliamente, como lo sugiere la figura.

1.6.1 Filtración a Presión Constante.

La ecuación (1.1) se puede integrar como sigue para filtración a presión constante, dando la relación entre las mediciones de filtrado y el tiempo total.

$$\left(\frac{V}{A}\right) = \frac{\mu \alpha W}{2 P A} + \frac{\mu r}{P} \quad (1.5)$$

Sustituyendo (1.2) en (1.5) se tiene :

$$\left(\frac{V}{A}\right) = \frac{\mu \alpha r c}{2 P \cdot (1 - m c)} \frac{V}{A} + \frac{\mu r}{P} \quad (1.6)$$

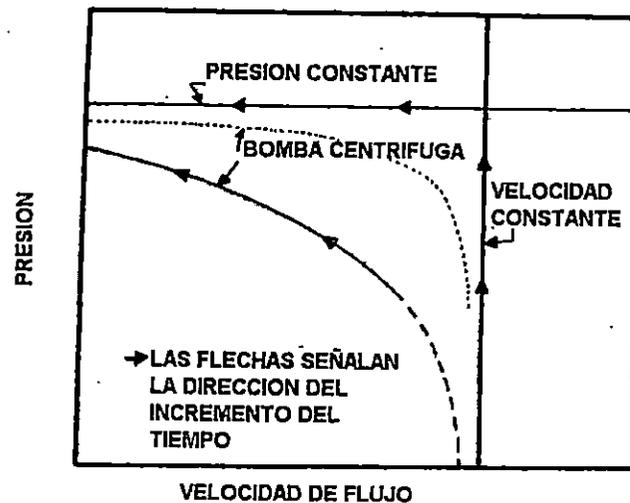


Fig. 1.10 . Ciclos Característicos de Filtración (Foust, et al., 1985)

Para una filtración dada a presión constante, esto se puede simplificar a:

$$\frac{\theta}{V/A} = K_p \frac{W}{A} + C = K_p' \frac{V}{A} + C \quad (1.7)$$

Donde según Jacobs, L., et al., (1995).

K_p, K_p', C : son constantes para las condiciones empleadas, se debe observar que K_p, K_p' y C dependen de la presión de filtración, no sólo del modo explícito evidente, sino también en el sentido implícito de que α, m y r son generalmente dependientes de P .

1.6.2 Filtración a Velocidad Constante.

Para tortas sustancialmente incompresibles, se puede integrar la ecuación (1.1) para una velocidad constante de alimentación de lechada al filtro, con el fin de obtener las siguientes ecuaciones en las cuales se considera la resistencia del medio filtrante como el componente equivalente de presión constante que se debe deducir de la caída total creciente de presión para dar la presión variable a través de la torta de filtro:

$$\frac{\theta}{V/A} = \frac{1}{\text{velocidad por unidad de área}} = \frac{\mu \alpha W}{(P - P_1) A} \quad (1.8)$$

Sustituyendo ecuaciones (1.2) y (1.3) en ecuación (1.8), se puede escribir también como:

$$\frac{\theta}{V/A} = \frac{\mu \alpha w}{P - P_1} \frac{V}{A} = \frac{\mu \alpha \rho c}{(P - P_1)(1 - mc)} \frac{V}{A} \quad (1.9)$$

En esas ecuaciones, P_1 es la caída de presión en el medio de filtro .

$$P = \mu r \left(\frac{V}{A \theta} \right) \quad (1.10)$$

Para una operación dada a velocidad constante, las ecuaciones se pueden simplificar a :

$$\frac{V}{A} = \frac{P}{K_r} + C' \quad (1.11)$$

Donde según Jacobs, L., et al., (1995).

K_r y C' son constantes para las condiciones dadas.

1.6.3 Filtración a Velocidad y Presión Variables.

El modelo de esta categoría complica la utilización de la ecuación de velocidad básica. Se ha desarrollado un método para integrar la ecuación cuando existe la curva característica de alimentación de la bomba (Jacobs, L., et al., 1995).

En la filtración de cantidades pequeñas de partículas finas a partir de líquidos, por medios de filtración a granel (como el fieltro o el algodón absorbente), se ha descubierto que las ecuaciones anteriores, basadas en la resistencia de una torta de sólidos, no son válidas, puesto que no se forma ninguna torta. Para esos casos, en que la filtración se produce en la superficie o dentro de los intersticios del medio, se han desarrollado ecuaciones análogas, las cuales se aplican con frecuencia a la clarificación de materiales como las soluciones de azúcar, soluciones de hilados y las soluciones de vaciado de películas (Jacobs, L., et al., 1995).

1.6.4 Importancia Práctica de las Ecuaciones de Filtración.

La forma diferencial (ecuación 1.2) de la ecuación de filtración proporciona información sobre los efectos mutuos de las variables operacionales.

Cuando la torta se compone de partículas granulares duras, que la hacen rígida e incompresible, un aumento de la presión no da como resultado ninguna deformación

de las partículas o sus intersticios, de modo que $s = 0$ y, al despreciar la resistencia del medio filtrante, la ecuación (1.1) se hace:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{AP}{\left[\mu\alpha' \left(\frac{W}{A} \right) \right]} \quad (1.12)$$

Por consiguiente, para tortas incompresibles, la velocidad de flujo es directamente proporcional al área y la presión es inversamente proporcional a la viscosidad, cantidad total de torta (o filtrado) y a α' (Jacobs, L., et al., 1995).

Cuando la torta consiste en partículas extremadamente blandas y que se deforman con facilidad, como el hidróxido férrico y otros hidróxidos metálicos, s se acerca a 1.0, de modo que la ecuación (1.1), despreciando una vez más el medio filtrante, se reduce a:

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{A}{\left[\mu\alpha' \left(\frac{W}{A} \right) \right]} \quad (1.13)$$

Por consiguiente, según Jacobs, L., et al., (1995) ., para tortas muy compresibles, la velocidad es independiente de la presión.

1.6.4.1 Efectos de Variables de Operación en el Proceso de Filtración.

Existen variables que afectan directamente la operación de filtración, las cuales determinan la capacidad, velocidad de flujo, tiempo de filtración, costo de operación,

eficiencia, condiciones de operación. El efecto de estas variables se describen a continuación :

a) El efecto de la presión que se mostró antes se modifica en la mayor parte de las filtraciones industriales, en donde la compresibilidad de la torta se encuentra por lo común entre 0.1 y 0.8. Además, la resistencia del medio de filtración reduce los efectos de las variables respectivas. Sin embargo, se ha descubierto que es válido el hecho de que, en la filtración de sólidos granulares o cristalinos, un aumento de la presión provoca un incremento casi proporcional de la velocidad de flujo. Los precipitados floculentos o limosos, por su parte, tienen velocidades de filtración que sólo aumentan ligeramente al incrementarse la presión. Algunos materiales tienen una presión crítica por encima de la que un aumento adicional produce una disminución real de la velocidad de flujo (Jacobs, L., et al., 1995).

En la filtración de ciertas lechadas no homogéneas, como las de sólidos arcillosos a los cuales se agregan materiales de ayuda para la filtración, se ha descubierto que una velocidad constante de flujo durante la filtración es más satisfactoria que una presión constante, puesto que la última da como resultado una claridad inicial baja del filtrado, y una acumulación rápida de resistencia de la torta. En realidad, la filtración de todas las lechadas, con excepción de las más incompresibles, es más satisfactoria cuando se utiliza una presión baja al comienzo de la operación. Esto resulta especialmente importante al filtrar lechadas de bajo contenido de sólidos (Jacobs, L., et al., 1995).

La mayor parte de los filtros a presión se alimentan por medio de bombas centrífugas y la operación se realiza en la modalidad de velocidad variable y presión variable, como se muestra en la fig. 1.10. Por lo general, se aconseja estrangular la bomba de alguna manera hasta que se forma totalmente la torta,

como indica la parte quebrada de la curva inferior de la bomba centrífuga (Jacobs, L., et al., 1995).

- b) El espesor de la torta es un factor importante para determinar la capacidad y el diseño de un filtro y el ciclo de operación depende de ella. La teoría de filtración demuestra que, desdeñando la resistencia de las telas, la velocidad promedio de flujo durante una filtración es inversamente proporcional a la cantidad de torta depositada. También es directamente proporcional al cuadrado del área de filtración. Se debe observar, como consecuencia de estas dos relaciones, que la velocidad promedio de filtración para una cantidad dada de filtrado o torta es inversamente proporcional al cuadrado del espesor de la torta al final de la filtración (Jacobs, L., et al., 1995).**

Si la resistencia específica de la torta es tan elevada que incluso una torta muy delgada muestra una resistencia alta al flujo en relación con la del medio filtrante, se obtiene una productividad máxima de filtración ($W/A\theta$) con una torta de espesor infinitesimal. Sin embargo, en este argumento se pasan por alto varios factores: la resistencia del medio filtrante, el tiempo necesario para retirar la torta de producto y preparar el medio para el ciclo siguiente, la dificultad de descarga de las tortas extremadamente delgadas y la inversión mayor que se requiere para un filtro de área mayor. Por consiguiente, en la práctica, la elección más económica es una torta de espesor apreciable. Cuanto mayor sea la resistencia del medio filtrante y más prolongado el tiempo de detención para la preparación, tanto mayor será el espesor óptimo de la torta (Jacobs, L., et al., 1995).

- c) El efecto de la viscosidad es como lo indican las ecuaciones de velocidad: la velocidad de flujo de filtrado en cualquier instante es inversamente proporcional a la viscosidad de filtrado. La viscosidad elevada de algunos filtrados (p. ej.,**

aceites o soluciones concentradas) se puede reducir mediante la dilución del material prefiltrado con disolvente de baja viscosidad, a veces con una ganancia neta de la velocidad de filtración, a pesar del mayor volumen de filtrado. Si el filtrado se necesita en una concentración elevada para tratamientos subsiguientes o como producto, la dilución sólo será factible si el costo de reconcentración no hace que la economía de la filtración sea desfavorable (Jacobs, L., et al., 1995).

- d) **El efecto de la temperatura sobre la velocidad de filtración de sólidos incompresibles es evidente, sobre todo, mediante su efecto sobre la viscosidad. La viscosidad de la mayor parte de los líquidos disminuye notablemente al elevarse la temperatura. Por ende, las temperaturas más altas permiten velocidades más elevadas de filtración; si el filtrado fuera agua, un aumento de 20 a 60°C duplicaría la velocidad de flujo. Los lodos compresibles se ven afectados en formas más complejas por el aumento de temperatura; pero el efecto general es, casi siempre, una velocidad de filtración mayor. El costo del calentamiento y, en la filtración al vacío, la presión de vapor del filtrado establecen límites para el punto hasta el cual se puede calentar el material de prefiltración (Jacobs, L., et al., 1995).**
- e) **El efecto del tamaño de partículas sobre la resistencia de la torta y la tela es muy notable. Incluso los cambios pequeños en el tamaño de partículas afectan al coeficiente en la ecuación para la resistencia de la torta (ecuación 1.3), y los cambios mayores afectan la compresibilidad.**

El tamaño menor de partículas da como resultado velocidades más bajas de filtración y contenido más alto de humedad de la torta pero, a veces, también una mayor eficiencia de lavado. Por tanto, es importante que se ejerza un control estrecho del tamaño de partículas en la alimentación al filtro. Por una parte, se

debe evitar la degradación del tamaño de partículas, por acción violenta de bombeo y agitación, El pretratamiento de la lechada tanto por medios químicos como físicos facilita la separación, al incrementar el tamaño de la partícula. Se pueden utilizar varias técnicas. La adición de determinados electrólitos, por ejemplo, alúmina, cal y sales de hierro, puede afectar los cambios en la superficie de la partícula y actuar como coagulantes o floculantes. El control del pH puede afectar la carga de superficie o el potencial zeta de las partículas. A menudo, la adición de polielectrólitos de alto peso molecular constituye un pretratamiento satisfactorio para atrapar las partículas finas que forman la estructura de floculación. En ocasiones, el cambio de temperatura, la recristalización, el añejamiento y la congelación son técnicas físicas eficaces (Jacobs, L., et al., 1995).

- f) **El efecto del tipo de medio filtrante no se reconoce con frecuencia en forma completa.** En la selección del medio para una filtración dada, se debe alcanzar un equilibrio entre un tejido tan abierto como sea factible, para reducir los atascamientos y tan apretado como sea necesario, para evitar la "purga" excesiva de las partículas finas. Después de que se haya formado sobre el medio un espesor de torta, la purga se suele detener, puesto que las partículas finas quedan atrapadas en la torta misma. Entre los tejidos de telas de filtros que se describen en una sección anterior, las lonas son las que tienen mayor capacidad para retener sólidos finos, seguidas en capacidad decreciente por las telas de cadena (sarga rota), las sargas y los satines. Sin embargo, la tendencia a atascarse es inversa. las telas gruesas y rígidas tienden a atascarse con mayor facilidad que las delgadas y flexibles. El efecto del atascamiento de la tela sobre la velocidad de filtración es tan apreciable que será con frecuencia la causa del reemplazamiento de la tela. También da como resultado la necesidad de utilizar un factor de seguridad para predecir las capacidades de filtración (Jacobs, L., et al., 1995).

- g) El efecto explícito de la concentración de sólidos en la lechada se muestra en las ecuaciones (1.5, 1.6 y 1.9). Estas ecuaciones indican que, con un valor despreciable de r , el tiempo para depositar una masa dada de sólidos es inversamente proporcional a la relación de masa de sólidos a filtrado. Puede haber también efectos implícitos. Los cambios de concentración de la lechada pueden afectar a α y a la velocidad de atascamiento del medio. En diluciones extremas, los mismos sólidos que, cuando se depositan de lechadas más concentradas, siguen la modalidad de filtración de torta pueden pasar incluso a la modalidad de filtración de medio filtrante, primordial para el atascamiento extremadamente rápido del medio filtrante. Todos estos efectos implícitos favorecen una mayor concentración de la lechada que, de justificarse, se puede efectuar utilizando alguno de los diversos espesadores que existen en el mercado, por ejemplo, de gravedad, tipo filtro, o hidrociclón.

Cuando se lava una torta de filtro, la velocidad del lavado es generalmente igual que la velocidad final de filtración si:

- i) La presión de lavado es la misma que la presión final de filtración
- ii) Si el líquido de lavado y el filtrado tienen propiedades físicas similares
- iii) Si el licor de lavado no interactúa con el filtrado, y
- iv) Si no hay una redistribución de la torta.

El modelo de un mecanismo de lavado divide el proceso en tres etapas:

- i) Desplazamiento, durante el cual hasta el 50% del licor en la torta se puede eliminar sin dilución,

- ii) Ruptura, durante el cual una cantidad sustancial y adicional de filtrado se desplaza con alta eficiencia, pero ésta se encuentra muy diluida con el lavado de rompimiento, y
- iii) Difusión, durante la cual el desplazamiento está prácticamente terminado y el soluto se elimina exclusivamente por difusión a partir de las cavidades.

Por lo general, el lavado no se debe continuar más allá de la etapa de ruptura, que normalmente termina cuando el volumen de lavado es igual al doble de espacios vacíos de la torta. Si se requiere mayor eliminación del soluto, probablemente el repulpado y filtrado sean más económicos que el lavado por difusión. La eficacia del lavado, que no se puede predecir teóricamente, se debe determinar en forma experimental. Un método útil para reducir los datos experimentales consiste en graficar la fracción del contenido original de soluto que permanece en la torta contra la relación de lavado (relación de volumen de lavado a volumen vacío de torta), con el límite práctico del lavado indicado por la eliminación de aproximadamente 90% del filtrado.

La subsecuente eliminación mecánica del líquido intraporos (filtrado o licor de lavado) de las tortas del filtro se realiza por desplazamiento con gas o aire comprimido a través de la torta ("soplado" o "secado") o mediante alguna forma de compactación mecánica.

1.6.5 Aplicaciones de la Teoría de Filtración a la Interpretación de Datos.

Las ecuaciones de filtración son útiles para predecir los efectos de un cambio en cualquier variable, si se determinan las constantes a partir de datos tomados de la lechada en cuestión. Por ejemplo, los datos de pruebas al vacío se pueden extrapolar para mostrar las velocidades aproximadas de filtración que se podrían

obtener si se filtrara la lechada a presión. Otro problema que resulta frecuentemente interesante es el efecto del espesor de la torta o el ciclo de tiempo sobre la velocidad general de filtración. Tiene mucha mayor importancia la utilización de la teoría para interpretar resultados de filtraciones de planta piloto o a escala de banco de trabajo, con el fin de estimar el tamaño, el ciclo operacional y el tipo de filtro que se utilizarán en un procesamiento que se diseñe o modifique.

Si se lleva a cabo una prueba a presión constante con una lechada, se debe tener cuidado de que no sólo la presión permanezca constante durante toda la operación, sino también la temperatura y el contenido de sólidos y que las lecturas de tiempo se inician al comienzo exacto de la filtración, de modo que se pueden observar valores de volumen o peso de filtrado y el tiempo transcurrido correspondiente. Mediante el área conocida de filtración, se pueden calcular valores de $\theta/(V/A)$ para diversos valores de v/A cuando se trazan gráficamente con $\theta/(V/A)$ como ordenada y V/A como abscisa dan como resultado una línea recta con pendiente $\mu\alpha w / 2P$ y una intersección en el eje vertical de $\mu r/P$. Puesto que se conocen μ , w y P , α y r se pueden calcular a partir de:

$$\alpha = \left(\frac{2P}{\mu w} \right) * \text{Pendiente} \quad (1.14)$$

y

$$r = \frac{P}{\mu} * \text{Ordenada al origen} \quad (1.15)$$

El efecto del cambio en cualquier variable que no afecte a α ni a r se puede estimar a continuación. Es preciso recordar que α y r dependen por lo común de P y se pueden ver afectadas por W (Fig. 1.11a).

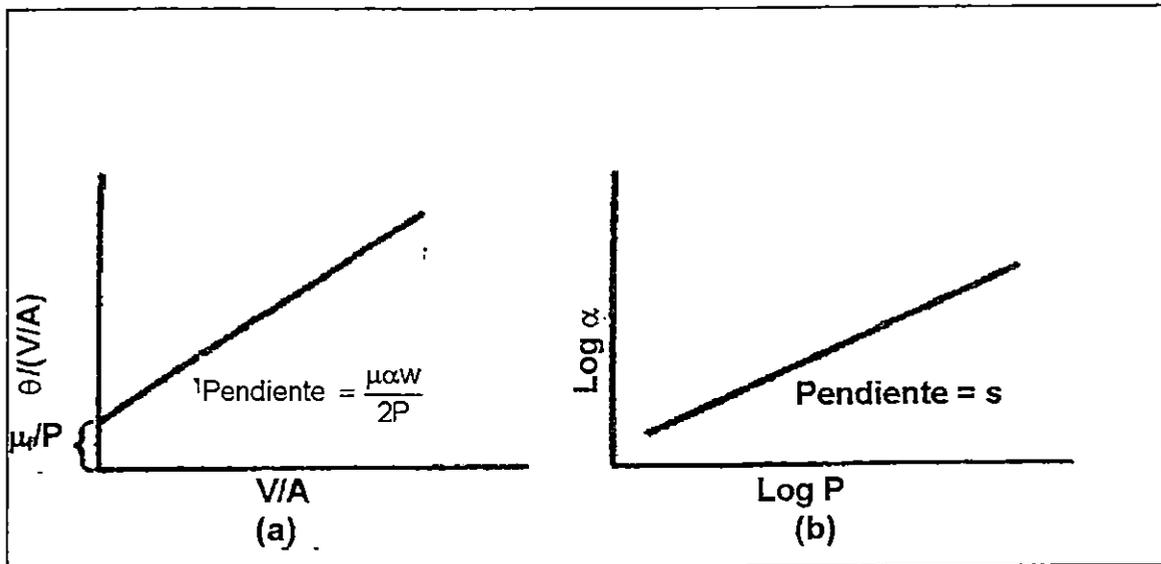


Fig. 1.11. Gráficas Típicas de Datos de Filtración (Perry, et al., 1995).

Se debe observar también que la intersección es difícil de determinar con precisión debido al gran error experimental potencial al observar el tiempo de comienzo de la filtración y la correspondencia de tiempo y volumen durante los primeros momentos, cuando la velocidad de filtración es elevada. El valor de r calculado a partir de la intersección puede variar considerablemente de unas pruebas a otras y casi siempre será distinto del valor medido con un medio limpio, en una prueba de permeabilidad. Para determinar el efecto de un cambio en la presión, es necesario efectuar pruebas a tres o más presiones que cubran de preferencia la gama que interesa. El trazado de la gráfica de α o r en función de P en papel log-log (ó $\log \alpha$ ó $\log r$ en función de $\log P$, en coordenadas cartesianas) da como resultado una línea recta aproximada (Fig 1.11b), a partir de la cual se pueden estimar valores de α o r en magnitudes interpoladas o razonablemente extrapoladas de P . La pendiente de la línea es el índice de una relación de potencia entre α y P ó r y P . No es raro que se descubra

que r depende sólo ligeramente de la presión. Cuando esto es cierto y, sobre todo, cuando la resistencia del medio filtrante es, como tiene que ser, relativamente pequeña, se puede utilizar un valor promedio para todas las presiones.

Es aconsejable iniciar una prueba de filtración a presión constante, como una operación comparable en una planta a baja presión e incrementar ligeramente esta última hasta el nivel operacional que se desee. En esos casos los datos de tiempo y cantidad de filtrado no se deberán tomar hasta alcanzar la presión operacional constante. El valor de " r ," calculado a partir de la intersección extrapolada, reflejará entonces la resistencia tanto del medio filtrante como de la parte de la torta depositada durante el período de aumento de la presión. Cuando se mide sólo la masa total de la torta seca para el tiempo de ciclo total, como sucede por lo común en las pruebas con hojas al vacío, se deben hacer al menos tres corridas de duraciones diferentes, para permitir el trazado de una gráfica confiable de θ/V en función de " W ". Si la rectificación de los tres puntos resultantes es dudosa, serán precisas otras corridas adicionales.

Se deben evitar las pruebas de filtración de tortas a velocidad constante, porque los datos son difíciles de interpretar. Cuando se deban tratar esos datos, se sugiere utilizar el procedimiento experimental y el método de correlación de Bonilla que incluye la determinación de P_1 y α_0 en la ecuación

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha' (P - P_1)^s \quad (1.16)$$

Y el trazado de la gráfica de $(\alpha - \alpha_0)$ en función de $(P - P_1)$, para determinar " α' " y " s ".

2.0 DISEÑO DE FILTROS A PRESIÓN POR LOTES

Para el diseño y construcción del filtro se tomo como base el artículo "Designing Batch Pressure Filters", escrito por Brown, Thane R., de la revista Chemical Engeneering, volumen 89, No 15, de Julio de 1982., Debido a que proporciona información básica en la cual se involucran parámetros que pueden ser cuantificados relacionándose entre sí para la obtención de parámetros desconocidos para un mismo sistema de operación.

La filtración a presión por lotes es a menudo practicada como un arte, con reglas de dedo sirviendo como instrumentos de diseño, ya que los principios de esta amplia operación unitaria no son bien comprendidos.

El resultado de esto es sistemas sobrediseñados que cuestan más de lo necesario, en instalación y operación.

En esta sección se describe como trabaja la filtración por lotes de presión y se muestran algunos elementos sobre cómo diseñar y optimizar nuevos sistemas, maximizar la producción o minimizar costos de operación para sistemas ya existentes y obtener los datos de planta piloto necesarios para el diseño.

2.1 El Ciclo de Operación.

En sistemas de filtración de presión por lotes, la suspensión es alimentada al filtro bajo presión, donde los sólidos son depositados en forma de una torta y el filtrado libre de sólidos es descargado periódicamente, la torta es removida.

En general el ciclo de operación tiene de cuatro a cinco pasos o etapas:

- a) Se comienza la alimentación y los filtros así se llenan de la suspensión.
- b) La torta se forma en el medio del filtro y crece hasta que se detiene la alimentación. Esto pasa ya sea cuando el filtro es llenado con la torta o cuando el flujo de alimentación baja de un valor mínimo aceptable.
- c) La alimentación se detiene, el filtro es vaciado de la suspensión y la torta es sopleteada y lavada.
- d) La torta es removida del filtro.
- e) El medio filtrante es revestido antes del siguiente ciclo, si es necesario.

En la fig. 1.11 muestra las variaciones en el caudal de la suspensión y la caída de presión durante un ciclo de operación. Se puede ver que están involucrados tres períodos de tiempo:

- a) **Período de velocidad constante.** Durante la formación de la torta el flujo másico (G) de alimentación es constante hasta que se alcanza la presión de operación. El período de velocidad constante comienza en el tiempo cero y termina en el tiempo " θ ". Durante este período de tiempo, el flujo másico es " G_1 " y la caída de presión a través de la torta aumenta de cero a ΔP_1 .
- b) **Período de presión constante.** Una vez que la presión de operación se alcanza, la caída de presión se mantiene constante, mientras el flujo disminuye debido al aumento de espesor de la torta. Este período de disminución de velocidad y presión constante comienza en " θ_1 " y finaliza en " θ_2 ".
- c) **Tiempo de reposo.** Entre " θ_2 " y " θ_3 " el filtro se detiene. Durante este período, el filtro es vaciado de la suspensión, la torta es secada o lavada y luego es descargada, el medio del filtro es revestido y luego llenado para la siguiente etapa. El siguiente ciclo comienza en " θ_3 " (Fig. 2.1)

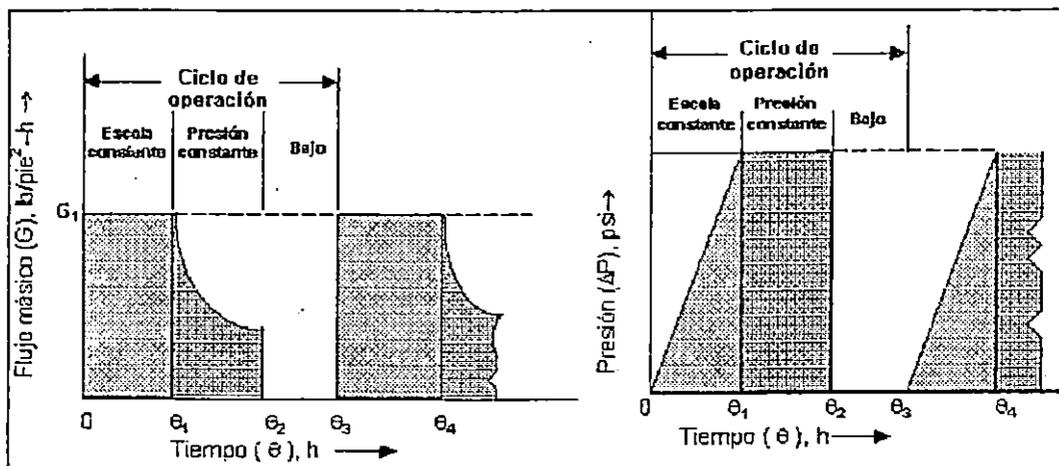


Fig. 2.1. Ciclos de Operación Típicos en Filtros Prensa.

Debido a los reposos cíclicos, ésta es, por supuesto, una operación por lotes. Por lo tanto, la filtración a presión por lotes con alimentación continua requiere de un tanque compensador antes del filtro.

También el filtro debe ser de un tamaño tal que se vacíe el tanque compensador entre cada limpieza. Un sistema de filtración por lotes con dos o más filtros en paralelo puede ser usado con procesos que requieren operaciones continuas, donde un filtro esta operando y otro en etapa de limpieza.

Otros ciclos además del descrito anteriormente son posibles, pero no se exponen en este trabajo. Las variaciones principales son: la velocidad constante, presión constante (algunas veces se usan con muchos filtros en paralelo); un sistema híbrido en el cual el filtro es alimentado por una bomba centrífuga (no es ni de velocidad constante ni de presión constante debido a las características de flujo y cabeza de la bomba).

2.2 Ecuaciones de Diseño.

Esta sección desarrolla las ecuaciones de diseño para filtros de presión tipo por lotes, que tienen los períodos de velocidad constante y presión constante de filtración. La ecuación de Darcy modificada es usada comúnmente para describir el flujo del filtrado a través de la torta del filtro.

$$q = \frac{K' A \Delta P}{\mu_L L} \quad (2.1)$$

Donde :

q : Flujo volumétrico del líquido (pie^3/h)

K' : Constante de filtración de Darcy ($\text{pie}^2 \cdot \text{cP}/\text{h} \cdot \text{psi}$)

A : Area de filtración (pie^2)

ΔP : Caída de presión a través de la torta (psi)

μ_L : Viscosidad del líquido (cP)

L : Espesor de la torta (pie).

Ahora con ayuda de los siguientes parámetros conocidos

$$\frac{q}{A} = \frac{G}{\rho_L} \quad (2.2)$$

$$L = \frac{S}{\rho_c} \quad (2.3)$$

Sustituyendo (2.2) y (2.3) en (2.1) para una terminología de filtración más conocida se tiene :

$$\frac{q}{A} = \frac{G}{\rho_L} = \left(\frac{K'}{\mu_L} \right) \left(\frac{\Delta P \rho_c}{S} \right) \quad (2.4)$$

$$G_s = K' \rho_c \Delta P \left(\frac{\rho_L}{\mu_L} \right) \quad (2.5)$$

Donde :

G : Flujo másico del líquido (lb/pie²-h)

S : Carga de sólidos en el medio filtrante (lb/pie²)

ρ_c : Densidad volumétrica de la torta del filtro (lb/pie³)

ρ_L : Densidad del líquido.

Ahora se define una constante de filtración para la torta (K_c) y una constante de filtración global (K).

$$K_c = K' \rho_c \quad \text{y} \quad K = K_c \left(\frac{\rho_L}{\mu_L} \right) \quad (2.6)$$

Sustituyendo en (2.5) y arreglando se tiene:

$$G_s = K \Delta P = K_c \Delta P \left(\frac{\rho_L}{\mu_L} \right) \quad (2.7)$$

La ec. 2.7 describe la relación del flujo másico y la masa de la torta con la caída de presión. La otra relación básica de diseño es la relación diferencial para la carga de la torta vrs el flujo másico, fracción masa de sólidos y el tiempo:

$$dS = G \times d\theta \quad (2.8)$$

Donde "x" es la fracción masa de sólidos en la suspensión, basada en la masa del líquido.

Durante el período de velocidad constante el flujo másico es constante e igual a "G₁" y la caída de presión, "ΔP₁" es alcanzada en el instante "θ₁". La carga de sólidos en "θ₁" es S₁. Sustituyendo en la ec. 2.7 se obtiene :

$$G_1 S_1 = K \Delta P_1 \quad (2.9)$$

Integrando la ecuación (2.8), de 0 a S₁ y de 0 a θ₁, se obtiene

$$\int_0^{S_1} dS = \int_0^{\theta_1} G \times d\theta \quad (2.10)$$

$$S_1 = G_1 \times \theta_1 \quad (2.11)$$

Sustituyendo ec. 2.11 en ec. 2.9, se encontró una expresión para el tiempo θ₁ de velocidad constante

$$\theta_1 = (K \Delta P_1) \left(\frac{G_1}{x} \right)^2 \quad (2.12)$$

Durante el período de presión constante, la caída de presión es ΔP_1 . Resolviendo la ec. 2.7 para G y sustituyendo en ec. 2.8 se obtiene el diferencial que describe este período

$$SdS = K \Delta P_1 \times d\theta \quad (2.13)$$

Integrando de S_1 a S_2 y de θ_1 a θ_2 produce

$$\left(\frac{1}{2}\right)(s_2^2 - s_1^2) = x K \Delta P_1 (\theta_2 - \theta_1) \quad (2.14)$$

El valor de S_1 es conocido de la ec. 2.11 y θ_1 es conocido de la ec. 2.12, si se define θ_f como el tiempo de filtrado ($\theta_f = \theta_2$ en este caso) y se sustituyen los valores conocidos, se puede resolver la ec.2.14 para S_2 :

$$S_2 = \left[2 \times K \Delta P_1 \theta_f - \left(\frac{K \Delta P_1}{G_1} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.15)$$

Esta ecuación describe los sólidos totales acumulados al final del período de filtración. Hasta ahora, se ha usado el flujo de masa instantáneo G . Para las ecuaciones de diseño finales, se sustituye la velocidad másica por el flujo másico y la velocidad promedio por la velocidad instantánea, y entonces se resuelve para el área.

La velocidad instantánea del líquido (lb/h), se expresa por W_1 y es igual a AG . La velocidad de líquido promedio durante el período de filtración (θ_f) es W_1 y la velocidad promedio durante el ciclo de filtración ($\theta_f + \theta_d$, donde θ_d es el tiempo de reposo) es W_2 ya que W_1 y W_2 son promedios, se sabe por la ec. 2.8 que:

$$S_2 = \left(\frac{W_1}{A} \right) \times (\theta_f) \quad (2.16)$$

$$S_2 = \left(\frac{W_1}{A} \right) (\theta_f + \theta_d) \quad (2.17)$$

Resolviendo la ec.2.7, se tiene:

$$A = (\theta_f + \theta_d) \times \left(\frac{W_1}{S_2} \right) \quad (2.18)$$

Finalmente, sustituyendo el valor conocido de S_2 de ec.2.15, da la ecuación para el área de filtración requerida:

$$A = \frac{(\theta_f + \theta_d) \times W_1}{\left[(2 \times K \Delta P_1 \theta_f) - \left(\frac{K \Delta P_1}{G_1} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (2.19)$$

Excepto por K , la constante de filtración, todas las demás variables en la Ec.2.19 se conocen. Se puede arreglar la ec.2.19 y despejar W_2 y G_1 :

$$W_2 = \frac{A \left[(2 \times K \Delta P_1 \theta_f) - \left(\frac{K \Delta P_1}{G_1} \right)^2 \right]^{1/2}}{(\theta_f + \theta_d) \times} \quad (2.20)$$

$$G_1 = \frac{K \Delta P_1}{\left[(2K \Delta P_1 \theta_f) - (\theta_f + \theta_d)^2 \times \left(\frac{W_1}{A} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (2.21)$$

Se puede resolver directamente θ_r , pero es más fácil resolver θ_r , por prueba y error.

2.3. Cálculo de Parámetros de Operación del Filtro Prensa.

Uno de los factores críticos para el diseño de un filtro de presión, es el área de filtración del mismo, ya que permite definir las dimensiones de placas y marcos, así como su número, tomando en cuenta, por supuesto, criterios como economía, espacio, facilidad de uso, entre otros, criterios que no son definidos directamente por el proceso en sí. La ecuación 2.19, de la sección 2.2, muestra que el área es una función de muchas variables.

En el diseño las variables más importantes, de acuerdo con Brown (1982), son:

- a) El flujo másico inicial (G_1),
- b) La temperatura de filtración, la cual afecta la viscosidad del filtrado (μ_L), y así la constante de filtración (K);
- c) La caída de presión a través de la torta (ΔP_1),
- d) El tiempo de reposo (para la limpieza) en el filtro es también variable, pero es difícil y caro cambiarlo.

Las otras condiciones de filtración - x y K_c - son generalmente influenciadas por el proceso.

De las tres variables principales G_1 es generalmente la más fácil de manipular. Las

figs. 2.1 y 2.2 muestran su efecto en A vrs θ_r y (W/A) vrs θ_r para filtración de tierras diatomáceas. Hay que hacer notar que existe una área mínima y un flujo másico promedio máximo $(W_2/A)_{\max}$ para un G_1 dado. Los buenos diseños toman ventaja de esto: Debe seleccionarse el tiempo de filtración (θ_r) que maximiza (W_2/A) , (Brown, 1982).

La fig. 2.3 muestra el efecto de G_1 en (W_2/A) máximo en forma directa. A bajos valores de G_1 , un pequeño incremento en G_1 causa un incremento grande de $(W_2/A)_{\max}$, a altos valores, el efecto de un incremento en G_1 es menor, y más allá de algún punto $(W_2/A)_{\max}$, se vuelve asintótica y posteriores cambios en G_1 no surten ningún efecto. Por lo tanto, hay que seleccionar un G_1 en o cerca del punto asintótico.

El punto al cual el flujo másico máximo llega a ser asintótico, tiende hacia la derecha (G_1 más grande), a medida que la filtración se hace más fácil (baja concentración de sólidos, mayor la constante de filtración, mayor la caída de presión, menor el tiempo de vaciado). La fig. 2.3 ilustra esta tendencia, mostrando una filtración fácil y otra difícil. Observando las dos curvas por $\Delta P_1 = 10$ psi, se nota que la curva de filtración difícil se hace constante en $G_1 = 50$ lb / pie²-h.

Donde $(W_2/A)_{\max} = 10$ lb / pie²-h mientras que la curva de la filtración fácil se hace prácticamente constante en el punto donde $G_1 = 120$ lb/ pie²-h. Esto significa que el diseñador puede incrementar $(W_2/A)_{\max}$ incrementando la constante de filtración o la caída de presión.

Un incremento de la temperatura de filtración disminuye la viscosidad y así aumenta la constante global de filtración (ver ec. 2.4). Por lo tanto el diseñador debería escoger la máxima temperatura que puedan soportar el medio del filtro y la suspensión que se está filtrando.

Un incremento de la caída de presión aumenta $(W_2/A)_{\max}$ como se encuentra en la fig. 2.3. Se nota que el punto asintótico tiende hacia la derecha a medida que ΔP_1 aumenta. Esto significa que en el diseño debería escogerse la ΔP_1 más alta posible, hasta la presión que demande un diseño especial para alta presión.

Por ejemplo: un incremento en cinco veces de ΔP_1 de 15 psi a 75 psi incrementará $(W_2/A)_{\max}$ sin producir mayores efectos en el diseño del filtro. Otro incremento de cinco veces - a 375 psi - requerirá un diseño más caro y por lo mismo puede no ser económico. Además, la torta puede volverse compresible a mayores caídas de presión (Brown, 1982).

En resumen, las reglas de diseño que se deben aplicar, según lo señala Brown (1982), son:

- a) Elegir el tiempo de filtración (θ_f) que maximice la transferencia de masa promedio (W_2/A) .
- b) Elegir una razón de transferencia de masa inicial (G_1) cerca del punto en que $(W_2/A)_{\max}$ vrs. G_1 se vuelve asintótica.
- c) Elegir la temperatura de filtración más alta posible, y que sea compatible con el proceso y con el medio filtrante.
- d) Elegir la mayor caída de presión (ΔP_1) posible, dentro del límite económico de los costos de equipo para alta y baja presión.

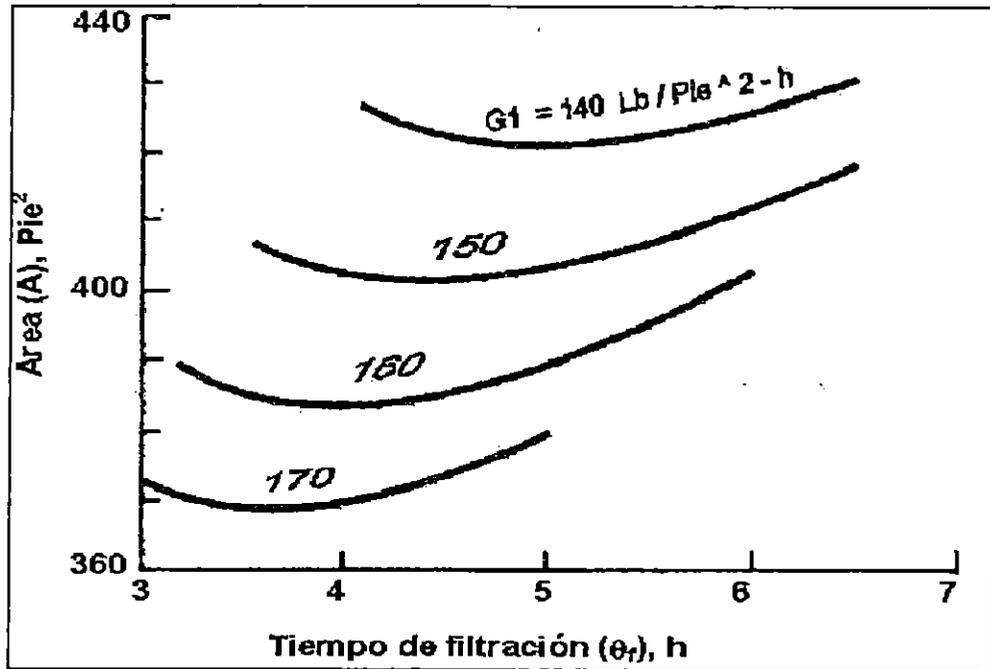


Fig. 2.2. Area de Filtración Mínima Dependiente del Flujo Instantáneo G_1 (Brown, 1982).

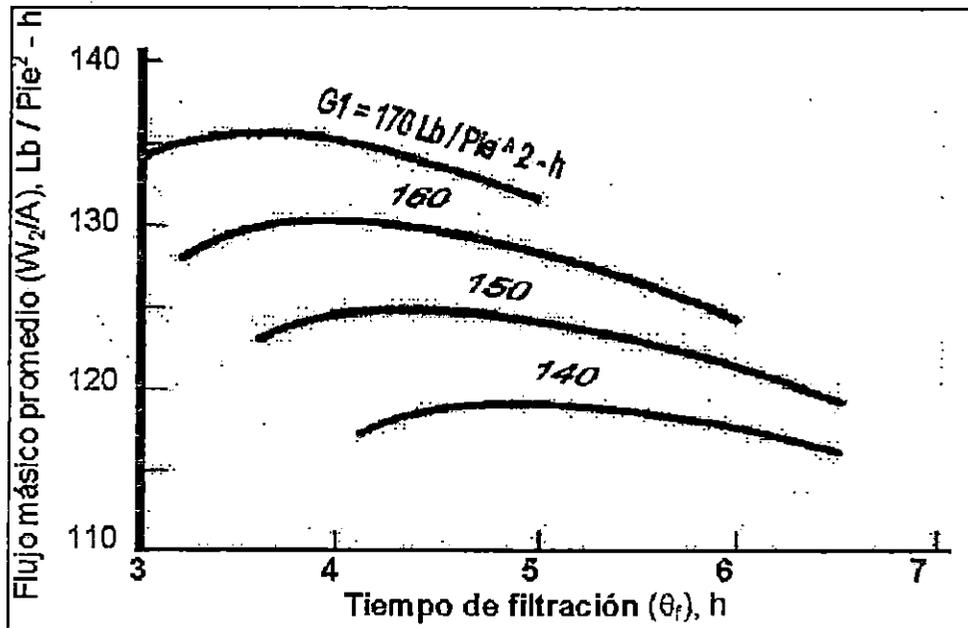


Fig. 2.3. Flujo Másico Promedio, el Cual Exhibe un Máximo (Brown, 1982).

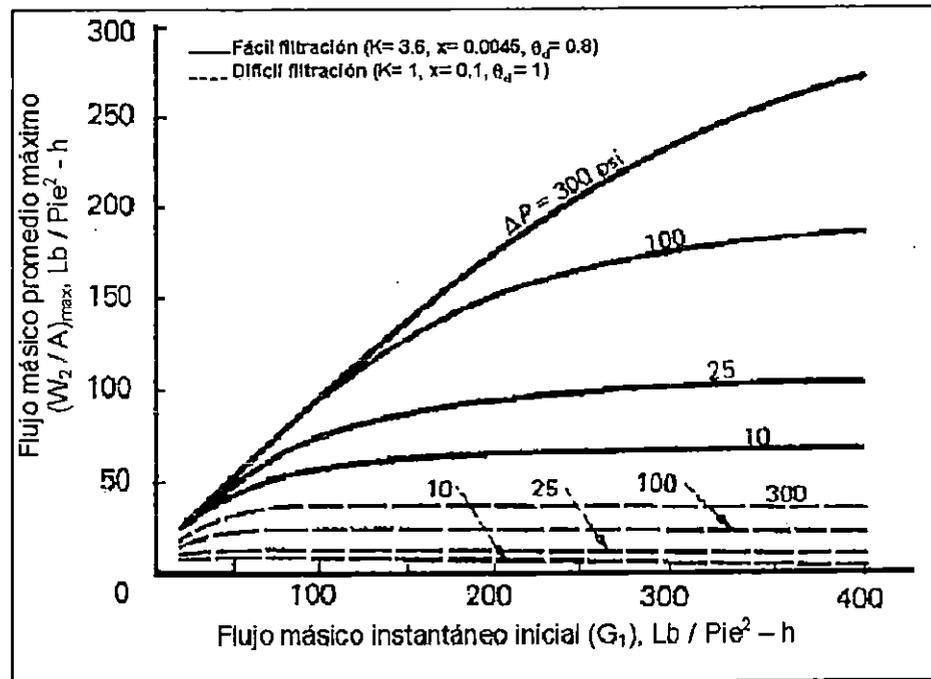


Fig. 2.4. Las Condiciones de Diseño Deben Acercarse al Punto Donde la Curva $(W_2/A)_{\text{Max}}$ Vrs. G_1 se Nivelan (Brown, 1982).

e) Elegir el tiempo de vaciado (θ_d) mínimo, dentro de lo razonable, si éste es controlable de alguna manera.

Todos los criterios mencionados anteriormente se consideraron en las primeras etapas del diseño del sistema de filtración a construir, lo cual se hizo luego de valorar otros factores para el problema particular de la utilización de materiales disponibles y a bajo costo, y que se describen a continuación.

2.4. Simulación Matemática para Cálculo del Área de Filtración.

Esta etapa se realizó con el objeto de determinar el área y tiempo de filtración para el sistema de filtración, atendiendo a las condiciones bajo las que se espera esté

operando durante las actividades de enseñanza - aprendizaje. Para la simulación realizada, se utilizó la ecuación (2.19):

$$A = \frac{(\theta_f + \theta_d) \times W_2}{\left[2 \times K \times P_1 \times \theta_f \left(\frac{K P_1}{G_1} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (2.19)$$

Para la solución de la ecuación (2.19) se elaboró una hoja de cálculo en el programa QPRO. Dicho programa permite trabajar en forma tabular con diferentes parámetros de la ecuación, actualizando inmediatamente los resultados en pantalla, a medida que aquéllos son modificados, y hacer gráficos de los valores obtenidos de la tabla así construida. Manteniendo ΔP constante y variando el resto de parámetros, por ejemplo, se pueden obtener familias de curvas a presión constante. Estas curvas son trazadas por el programa. Se puede realizar, entonces, permutaciones con las variables involucradas en la ecuación 2.19, para definir las condiciones de operación más apropiadas para obtener el área de filtración mínima, con las restricciones definidas.

Cuadro 2.1. Matriz de Variables de Filtración para Proceso de Simulación.

	ΔP	x	W_2	K
ΔP		*	*	*
x	*		*	*
W_2	*	*		*
K	*	*	*	

Desarrollo de la matriz: Aun cuando son numerosas las combinaciones que pueden realizarse con los parámetros de la filtración, se estableció rangos para el desarrollo de la matriz. Así:

ΔP : 30, 40 y 50 psi

x : 0.1, 0.2 y 0.3

W_2 : 300, 500 y 800 lb/h

K : 2, 3 y 4 lb²/pie⁴-h-psi

Estos rangos obedecen a las justificaciones siguientes:

- a) Sobre el ΔP se estableció el límite superior de 50 psi, ya que la bomba con la que se cuenta maneja una caída de presión máxima de 60 psi, y el límite inferior de 30 psi obedece a que se evita el desperdicio de la capacidad de la bomba, abajo de esta presión.
- b) En cuanto a la concentración de sólidos en suspensión (x) se realizaron pruebas de consistencia con carbonato de calcio, y se observó que arriba de 30 % se tiene una consistencia ligeramente viscosa, lo que podría afectar el funcionamiento de la bomba.
- c) El flujo másico se delimitó con base en el siguiente análisis matemático:

Si se utiliza agua, se tiene:

$$W = \frac{lb}{h} \quad (2.22)$$

$$W = 300 \frac{lb}{h} \quad (2.23)$$

Expresando en función del caudal:

$$Q_f = 300 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \times \frac{1}{62.44 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}} = 4.82 \frac{\text{pie}^3}{\text{h}} \quad (2.24)$$

$$Q_f = 4.82 \frac{\text{pie}^3}{\text{h}} \times \frac{\text{h}}{60 \text{min}} \times \frac{7.48 \text{gal}}{\text{pie}^3} = 0.6 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \quad (2.25)$$

Para:

$$W = 500 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \rightarrow Q_2 = 1.2 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$W = 800 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \rightarrow Q_3 = 1.6 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

$$W = 1000 \frac{\text{lb}}{\text{h}} \rightarrow Q_4 = 2.0 \frac{\text{gal}}{\text{min}}$$

Cuando se da un incremento de caudal, el ΔP producido por la bomba disminuye, siguiendo la curva característica de la misma. Por ello se determinó un W_2 máximo de 800 lb/h, para las pruebas, con lo cual se obtendría un caudal entre 0.6 y 1.6 gal/min a un ΔP máximo, de conformidad con la curva de la bomba.

- d) Con relación a la constante de filtración K , ésta está afectada por un signo negativo y una raíz par en la ecuación 1-21, por lo que se limitó su valor a fin de evitar raíces imaginarias.

Se describe a continuación, a modo de ejemplo, algunas de las iteraciones realizadas para la matriz del Cuadro 2.1.

Variación de ΔP , en los valores 30, 40 y 50 psi:

- a) Corrida 1: Se mantienen constantes x , W_2 y K a los valores de 0.1, 300 y 2, respectivamente, y se hace variar ΔP .
- b) Corrida 2: Se conservan los valores originales, excepto para x , que se cambia a 0.2, y nuevamente se evalúa la ecuación variando el valor de ΔP .
- c) Corrida 3: En esta corrida, el valor de x se hace igual a 0.3, y se repite el proceso como en b).

Cuadro 2.2. Parámetros Utilizados en la Simulación a Partir de la Matriz de Variables de Filtración

	x	W_2 (lb/h)	K (lb ² /pie ⁴ h-psi)	ΔP (psi)
1ª corrida	0.1	300	2	30, 40 y 50
2ª corrida	0.2			
3ª corrida	0.3			

Debe observarse que cada corrida implica la evaluación de la ecuación 2.19 con el tiempo de filtración como variable independiente, y el área de filtración como variable dependiente, siendo cada corrida una sustitución de los parámetros constantes de dicha ecuación.

De esta manera se efectuó el desarrollo de la matriz. Sin embargo, ésta no se desarrolló en forma completa, ya que se observó que el trazo de las curvas

presentaba distorsiones para algunas combinaciones, por lo que se suspendió su procesamiento. Por ejemplo, si al evaluar $\Delta P = 30$ se producía una curva con distorsiones, viendo que en la ecuación 2.19 dicha variable aparece en el denominador, un aumento en su valor tendría que producir resultados similares, para las condiciones establecidas de x , W_2 y K , y no se prosiguió con los otros valores.

Depurando los resultados, se determinó la combinación óptima para el diseño del filtro prensa. En las figuras 2.4, 2.5 y 2.6 se presentan algunas series de curvas correspondientes a diferentes combinaciones de las variables involucradas en la operación del filtro prensa. En la fig. 2.4, por ejemplo, que muestra la gráfica de área vs. tiempo de filtración para diferentes valores de G_1 , se evaluó la ecuación de diseño utilizada con $\Delta P=50$, $K=6$, $x=0.3$, $\theta_d=1$ y $W_2 = 30$; en este caso se obtuvo un área mínima (10 pie²) en un tiempo de filtración de 0.5 h. En la figura 2.5, los parámetros constantes fueron 50, 4, 0.2, 0.5 y 300, en el mismo orden, y 50, 6, 0.3, 0.5 y 200 para la fig. 2.6.

Mediante el procedimiento aquí descrito, se determinó el área de filtración para el equipo a construir con un valor de 8 pie²

2.5 Selección de Lechada a Filtrar Durante las Pruebas.

Durante esta etapa, se probaron tres materiales sólidos a fin de evaluar su comportamiento y utilidad en la preparación de la lechada a utilizar en las pruebas de filtración. Los materiales que se consideraron fueron: a) tierras diatomáceas agotadas provenientes de la filtración de aceite comestible, b) carbonato de calcio, c) pectina, las pruebas iniciales con estos tres materiales se describen en las secciones 2.5.1 a la 2.5.3.

2.5.1. Tierras Diatomáceas Agotadas.

El uso de ayudas filtrantes permite ampliar el número de aplicaciones de un filtro prensa, como ocurre en el caso de aceites comestibles, ya que dichas ayudas, consistentes en tierras diatomáceas, permiten la separación de ceras y otros compuestos indeseables en el aceite; estas ayudas son desechadas luego de cada lote. Es por ello que se evaluó como primera alternativa el uso de tierras diatomáceas agotadas, provenientes de la torta formada en la filtración antes mencionada.

Dicho material se obtuvo en El Dorado, S.A., empresa que proporcionó suficiente material para la realización de las pruebas de filtración.

El objetivo de obtener estas tierras, era comprobar la posibilidad de regenerarlas, e intentar reproducir el proceso industrial. Para ello se trató el material con agua en ebullición, introduciendo en ella las tierras y agitando constantemente por períodos de aproximadamente 30 minutos; este procedimiento se repitió tres veces.

Posteriormente se retiró el material del agua y se secó al aire. Con el objeto de verificar su comportamiento en suspensión, se midió material suficiente para preparar suspensiones acuosas de 5, 10 y 20 %, p/v, el volumen de suspensión fue de un galón, aproximadamente, para cada nivel de concentración de sólidos.

Se observó que las tierras diatomáceas utilizadas formaban grumos de tamaño considerable y con apariencia grasosa, por lo que se descartó el tratamiento con agua caliente.

También se intentó regenerar o limpiar las tierras diatomáceas tratadas anteriormente con solución de hidróxido de sodio, para eliminar la consistencia grasosa de los flóculos. Las pruebas realizadas no fueron satisfactorias, por lo que se desistió del uso de las tierras diatomáceas para su uso como lechada de filtración del proyecto.

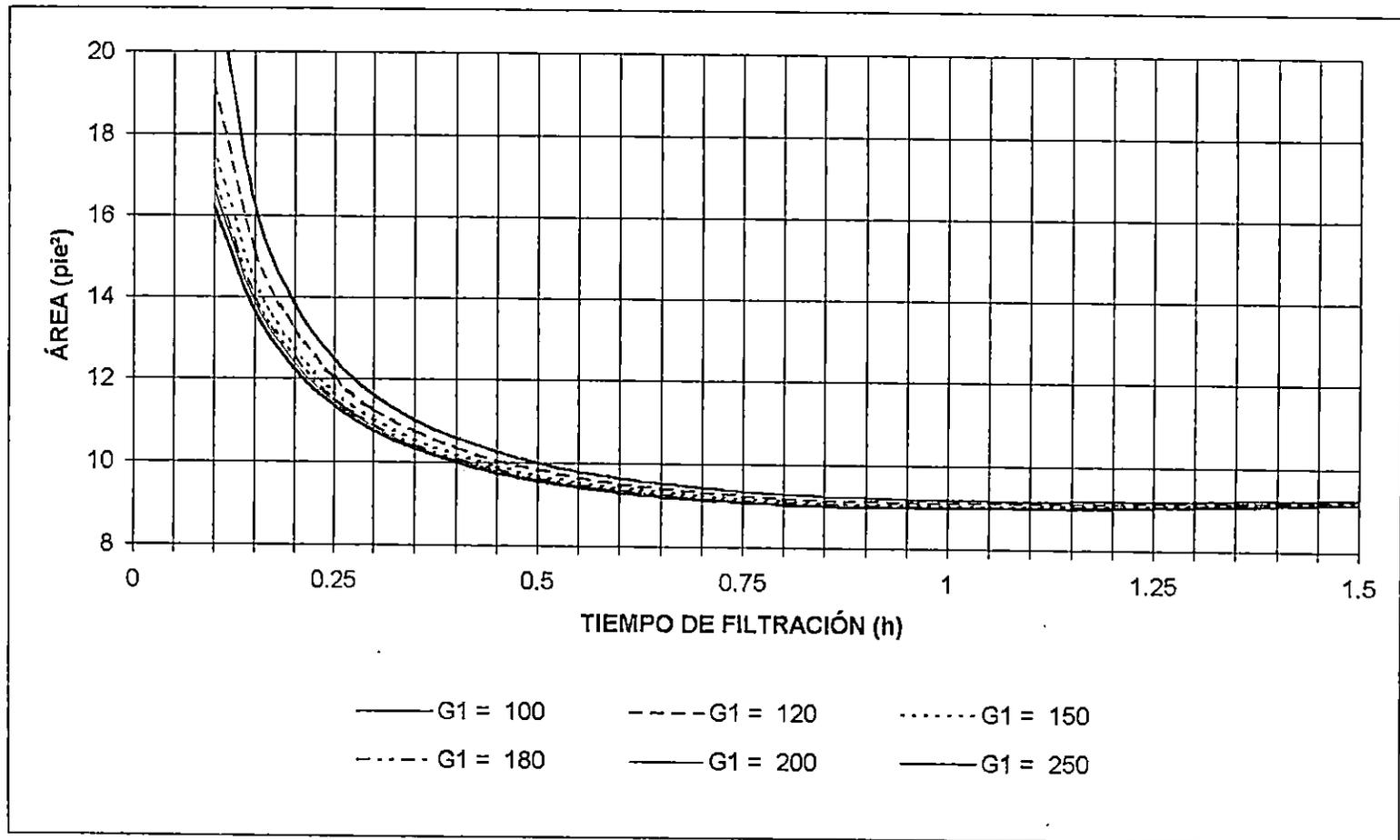


Fig. 2.5. Area de Filtración Mínima a Partir de Ecuación 2.19, con $K = 6$, $x = 0.3$, $\theta_d = 1$ h y $W_2 = 300$ lb/h.

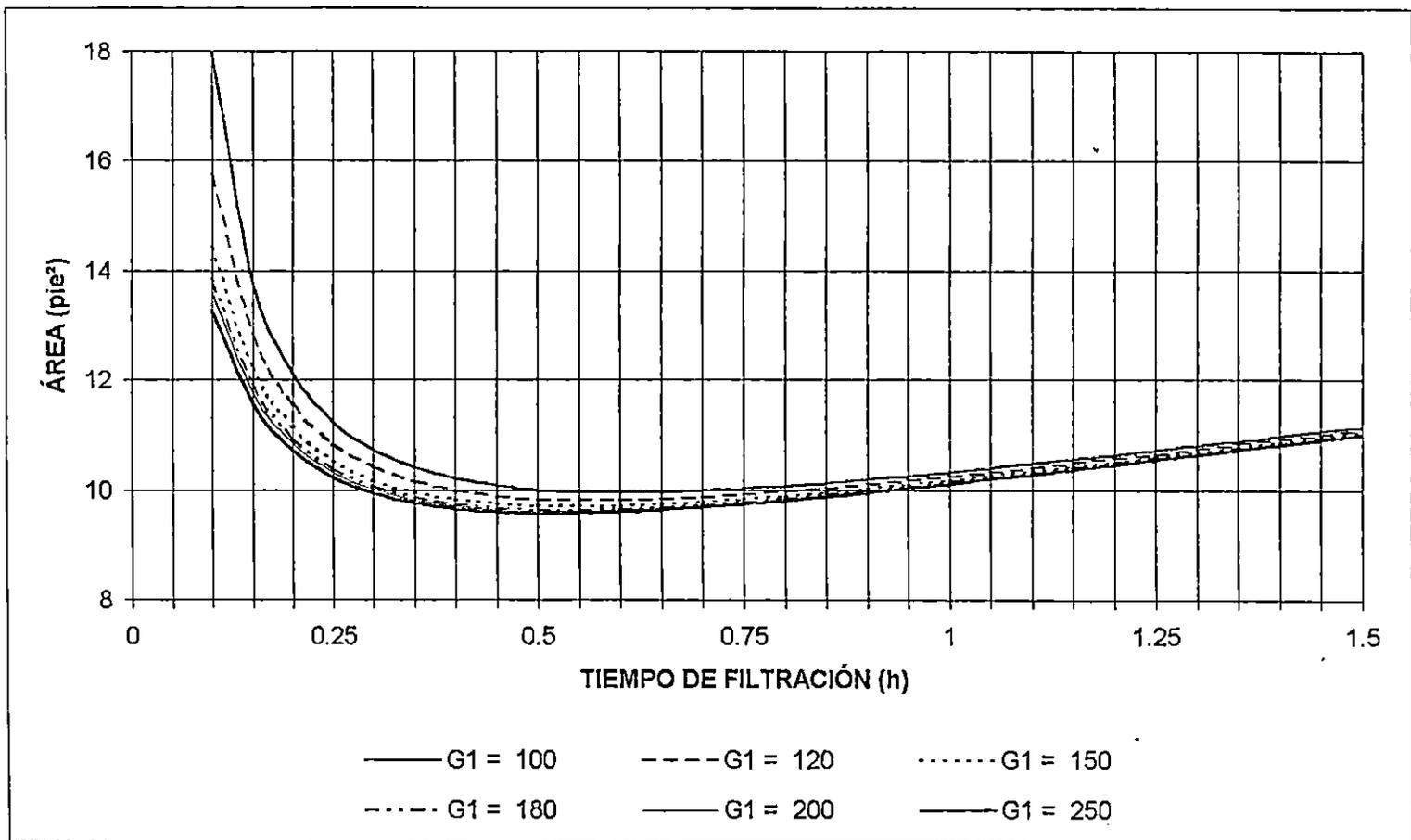


Fig. 2.6. Area de Filtración Mínima a Partir de Ecuación 2.19, con $K = 4$, $x = 0.2$, $\theta_d = 0.5$ h y $W_2 = 300$ lb/h.

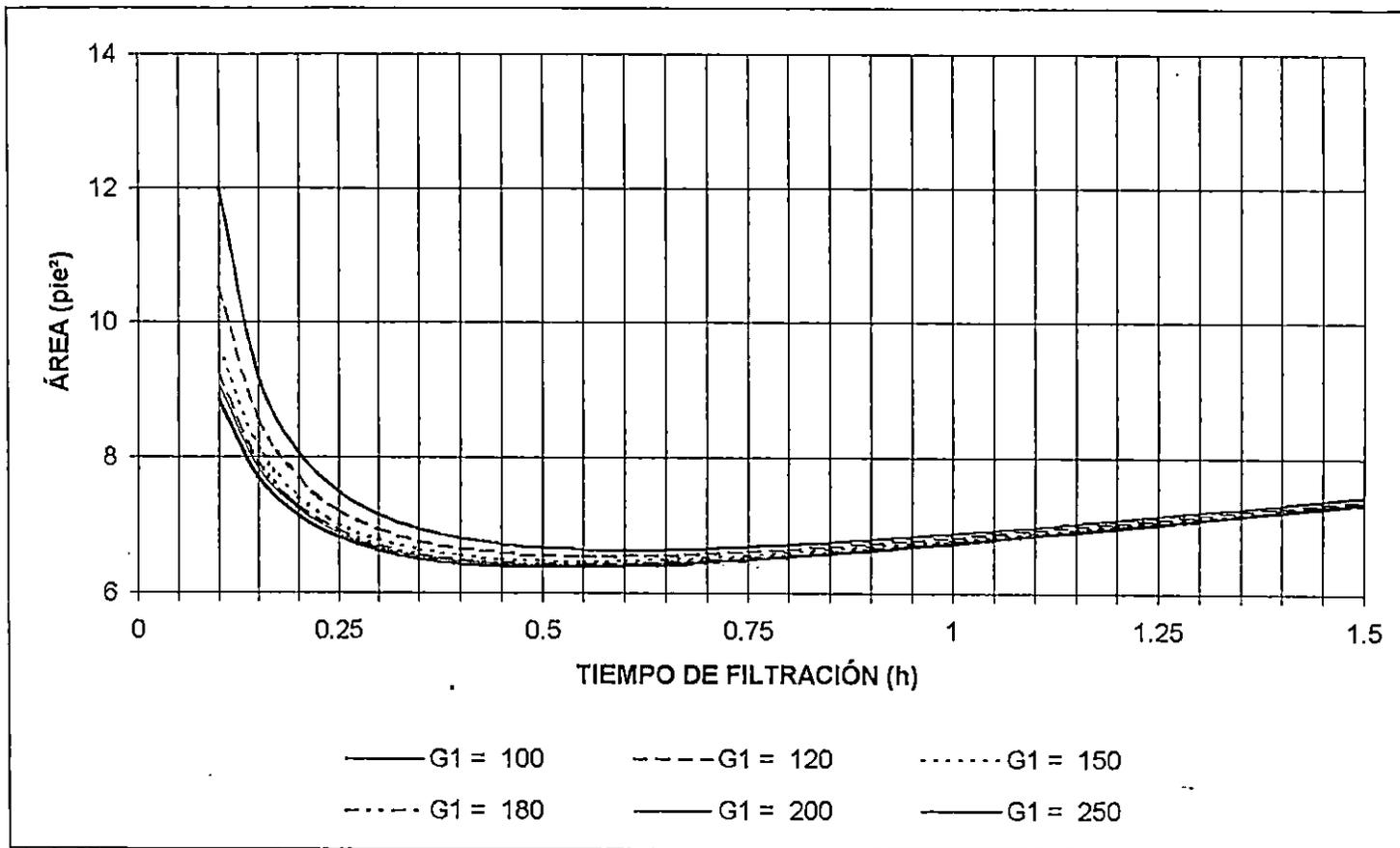


Fig. 2.7. Area de Filtración Mínima a Partir de Ecuación 2.19, con $K = 6$, $x = 0.3$, $\theta_d = 0.5$ h y $W_2 = 200$ lb/h

2.5.2. Carbonato de Calcio.

Debido al problema descrito con las tierras diatomáceas se escogió el uso de Carbonato de Calcio (CaCO_3) como material suspendido a separar, sin el uso de ayudas de filtración, considerando la información bibliográfica con que se cuenta, referente a la filtración de este material. Se realizaron diferentes pruebas de mezcla del carbonato de calcio a las mismas concentraciones que para las tierras diatomáceas, con resultados satisfactorios en cuanto a homogeneidad de la suspensión. Para el problema de corrosión se colocó muestras de hierro y bronce en suspensiones de carbonato de calcio al 5, 10 y 20 %, durante dos semanas, sin presentarse ninguna alteración en las muestras. A pesar de que este material presentó resultados satisfactorios, la cantidad necesaria para las pruebas incrementaba los costos sensiblemente, ya que sólo se pudo encontrar material con calidad USP.

2.5.3. Pectina.

Las pruebas realizadas con el Carbonato de Calcio también fueron hechas posteriormente con pectina, con la cual se tiene la ventaja de haber en existencia en el laboratorio de la Planta Piloto de la Escuela de Ingeniería Química. La Pectina es un Polisacárido, en el cual el principal componente es el Acido D-Galacturónico o Galacturano con diferentes grados de Metilación, en donde las unidades estructurales se encuentran unidas por enlaces glucosídicos $\alpha(1,4)$ de alto peso molecular, que se encuentra en los tejidos de diversas frutas y vegetales, tales como manzanas, limones y zanahorias, entre otras, y se utiliza en la fabricación de productos alimenticios. Consecuentemente, se optó por este material, ya que además de dar resultados apropiados en las pruebas de suspensión y filtrado, se encontraba disponible en cantidad suficiente.

2.6. Selección del Medio Filtrante.

En cuanto a los medios filtrantes existe la limitación de que dichos medios se pueden adquirir únicamente a través de un sólo proveedor, por lo que no se pudo comparar medios de distintos fabricantes. Se realizaron varios ensayos con distintos tipos de lona del mismo fabricante, mediante un filtro Buchner conectado a vacío. De dichas pruebas se seleccionó la lona conocida por el distribuidor como "lona filtro", tanto por su capacidad de retención como por ser de menor costo.

2.7 Selección de Materiales de Construcción de Placas y Marcos del Filtro Prensa

Inicialmente se propuso para la construcción de las placas y marcos, hierro fundido de $\frac{3}{4}$ plg. de espesor; debido al alto costo de éste, de los accesorios para maquinarla (fresadoras, brocas, etc.) y el prolongado tiempo de fabricación, se optó por investigar materiales alternativos para la construcción de las placas y marcos, entre los que se encuentran: Angulo Industrial, Tubo Cuadrado, Láminas de PVC, Nylon y Teflon y Resina Poliester (reforzada con fibra de vidrio).

De los materiales alternos evaluados la resina Poliester presenta la mejor opción económica, práctica y técnica (Segovia, 1997), y que comercialmente se conoce con el mismo nombre genérico. Una vez seleccionado el material se prosiguió a preparar muestras del polímero de resina Poliester para someterlas a pruebas físicas y químicas, con la finalidad de determinar su resistencia al impacto, la compresión y al ataque químico.

2.7.1 Fabricación de las Muestras de Resina Poliester y Fibra de Vidrio para Pruebas de Resistencia al Impacto, la Compresión y al Ataque Químico.

El procedimiento empleado en la fabricación de las muestras fue:

- a) Se prepararon moldes de PVC, con un tamaño de 3.6 cm de diámetro por 1.5 cm de espesor, para colar la resina y la fibra de vidrio.

- b) Se elaboraron muestras combinando la resina con la fibra de vidrio con el propósito de mejorar su resistencia mecánica en una proporción de uno a uno colocando una capa de 1mm de espesor aproximado de resina Poliester y luego una capa de fibra de vidrio(Cardona, 1997), también se realizaron pruebas a otras proporciones, pero los resultados no fueron satisfactorios, dado que la resina presenta al momento de su secado una reacción exotérmica que produce grietas al no realizarlo en las proporciones indicadas.
El uso solo de resina Poliester da lugar también a la formación de grietas.

- c) Las piezas formadas o moldeadas se dejaron por dos días en reposo para su secado .

Posteriormente se sometieron a las pruebas físicas y químicas que se describen en las secciones 2.7.2 y 2.7.3 respectivamente.

2.7.2 Pruebas de Resistencia al Impacto y a la Compresión.

Se realizaron pruebas de resistencia de impacto dejando caer una pieza de hierro negro de 6.8 kg de una altura de 2 pies sobre cada pieza preparada.

Las pruebas de compresión se realizaron aplicando 5, 10, 15, 20 y 25 Kg./cm² rango de trabajo de una prensa manual hidráulica marca Specac con una capacidad máxima de 20 Ton/pulg².

Los resultados obtenidos son reportados en el cuadro 2.1.

2.7.3 Pruebas de Resistencia al Ataque Químico.

El objetivo de estas pruebas fue verificar la resistencia al ataque químico de las piezas; para esto se sometieron a soluciones ácidas y básicas a concentraciones diferentes, tanto diluidas como concentradas durante un periodo de dos días a cada una de las muestras. Los resultados obtenidos a las pruebas son reportados en el cuadro 2.2a y 2.2b.

Después de analizar las muestras y comparar los resultados se concluyó que:

El material no reacciona en medio ácido ni básico, por lo tanto puede ser utilizado para la construcción de las placas y marcos.

Una vez seleccionada la Resina Poliester combinada con fibra de vidrio en proporción de uno a uno como material de construcción para las Placas y marcos se prosiguió a construir los moldes (desarmables), el colado de las placas y marcos del filtro prensa.

Cuadro 2.3. Resultados de las Pruebas Físicas de Impacto y Compresión en Muestras de Resina Poliester Con y Sin Fibra de Vidrio.

Muestra	Prueba	Observaciones
Pieza de Resina Poliester con fibra de vidrio	Impacto M = 6.8 Kg H = 2 pies	Resiste el impacto Sólo se produjo un abollamiento en la pieza sin producirse grietas o quebraduras internas el material.
	Compresión P = 5-10 Kg./cm ²	Resiste la compresión. Solo se produjo un agrietamiento en las áreas donde la prensa no tenia un contacto directo (orillas de la muestra).
Pieza sólo con resina Poliester .	Impacto	La pieza se quebró No resiste el impacto.
	Compresión P = 5-10 Kg./cm ²	Resiste la compresión. Solo se produjo un agrietamiento en las áreas donde la prensa no tenia un contacto directo (orillas de la muestra).

2.8 Colado de las Placas y Marcos

Para la elaboración de las placas y marcos se realizaron pruebas preliminares en moldes de madera, no a escala, para determinar la mejor forma de colar la resina y la fibra de vidrio; además, observar el tiempo óptimo de secado para desensamblar los moldes y si la resina no se adhería fuertemente al molde, concluyéndose que:

La fibra de vidrio debe colocarse por capas agregando cuidadosamente la resina al molde y antes de agregar la resina tiene que aplicarse al molde una película de "separador de resina a base de silicona" (nombre comercial), lo cuál permite que la Resina no se adhiera al molde a utilizar, dejándolo por aproximadamente de 5 a 10 minutos en reposo antes iniciar el colado.

Cuadro 2.4a. Resultados Obtenidos de Las Pruebas de Resistencia al Ataque Químico en Muestras de Resina Poliester .

Resina Poliester	
Solución	Observaciones
HCl 0.5 N	Las piezas no presentaron puntos de ataque químico, ni de cambios en su consistencia por reacciones que se pudieron haber presentado, ni color después de haberlas sometido a las pruebas al igual de no haber deformaciones físicas.
HCl 1 N	
HCl 1.5 N	
HCl Concentrado	
NaOH 0.5 N	
NaOH 1 N	
NaOH 1.5 N	
NaOH Concentrado	

Cuadro 2.4b. Resultados Obtenidos de las Pruebas de Resistencia al Ataque Químico en Muestras de Resina Poliester con Fibra de Vidrio.

Resina Poliester con fibra de vidrio	
Solución	Observaciones
HCl 0.5 N	Las piezas no presentaron puntos de ataque químico, ni de cambios en su consistencia por reacciones que se pudieron haber presentado ni color después de haberlas sometido a las pruebas al igual de no haber deformaciones físicas
HCl 1 N	
HCl 1.5 N.	
HCl Concentrado	
NaOH 0.5 N	
NaOH 1 N	
NaOH 1.5 N	
NaOH Concentrado	

Procedimiento empleado para el colado de las placas y marcos:

- a) Aplicar "separador de resina" al molde y dejar reposar de 5 a 10 minutos.
- b) Verter cuidadosamente una capa de resina Poliester de alrededor de 1 mm de espesor sobre el molde o colocarla directamente con la ayuda de una brocha.
- c) Colocar una capa de fibra de vidrio sobre la de resina Poliester y luego aplicar otra de resina, así sucesivamente hasta completar el molde.
- d) Dejar en reposo por 24 horas como mínimo, para obtener óptimos resultados de secado.
- e) Pintar las piezas preparando mezcla de resina con pigmento (opcional).

2.9 Construcción del Filtro Prensa

Las medidas de las placas y marcos se definen basándose en un área efectiva de filtración de 0.74 m^2 , que se determinó en la sección 2.4, en la cual se efectuó una simulación matemática para el diseño del filtro prensa.

Los marcos son de forma cuadrada, su borde externo mide 38 cm y el interno 30 cm para un espesor de marco de 2 cm y orificios para el flujo de fluido de 0.09 cm de diámetro (Fig. A-2).

Las placas de forma cuadrada con borde externo de 38 cm, cuentan con una serie de canales verticales de descarga del líquido filtrado de 3.5 cm de ancho por 27 cm de largo y 0.3 cm de profundidad, separados entre sí por 2 cm de borde.

Conectándose en la parte inferior por un canal de 3 cm de ancho por 31.8 cm de largo con la misma profundidad, el cual descarga el fluido por medio de un orificio de 1 cm de diámetro situado en la parte inferior derecha.

Todas las placas diseñadas poseen estos canales en ambas caras, exceptuando las placas ubicadas en los extremos cuyas superficies externas son lisas (Fig. A-1).

El espesor de los marcos se fijó en 2 cm con el objetivo de formar más rápidamente la torta, y así evitar el sobrecalentamiento de la bomba y formación de depósitos o sedimentos en ésta o en la tubería.

En base a las medidas de las 5 placas y los 4 marcos se construyó el banco del filtro, accesorios (volante, canaleta de drenaje, soporte de la bomba y bandeja recolectora de filtrado) y los demás elementos: tanque de alimentación, tanque de filtrado, tuberías de alimentación de agua, reciclo, drenaje de los tanques y alimentación a los marcos. El cuadro 2.3 detalla los materiales y medidas del Banco (figuras A-3 y A-4, anexos), Tanque de Alimentación (figura A-5, anexos) y Tanque de Líquido Filtrado (Figura A-6, anexos).

Cuadro 2.5 Materiales y Medidas con los que fue Construido el Filtro Prensa.

Pieza	Material	Medida (pulgadas)
Banco (Fig. A-3 y A-4)	Angulo de hierro negro	2 x 1/8
Volante	Varilla de hierro negro	D= 3/8
	Platina de hierro negro	1 x 1/4
Eje del Volante	Acero	1 3/4
Placa de Presión (frontal)	Angulo de hierro negro	1 1/2 x 1/16
Placa de Presión (trasera)	Lámina de hierro negro	1/16
Canaleta	PVC	6
Bandeja	Lámina galvanizada	1/32
Soporte de Canaleta	Platina de hierro negro	1 x 1/16
Soporte de placas y marcos	Varilla de hierro negro	1/8
Tanque de Alimentación (Fig. A-5)	Lámina de hierro negro	1/16 D= 27.95 L= 40.55
Agitador	Varilla galvanizada	D= 5/8 L= 35.43
Estructura de soporte del agitador	Lámina de hierro negro	1/16
Base de Tanque	Angulo de hierro negro	1 X 1/16
	Angulo de hierro negro	1 X 1/8
	Lámina de hierro negro	1/16

Cuadro 2.5 Materiales y Medidas con los que fue Construido el Filtro Prensa

Tanque de Líquido Filtrado (Fig. A-6)	Lámina de hierro negro	1/16 D= 27.95 L= 40.55
Medidor de Nivel	Tubo de vidrio	5/8
	PVC	½ L= 35.43

Cuadro 2.6. Especificaciones de Accesorios del Filtro Prensa

Equipo	Descripción
Bomba de alimentación	Tipo centrífuga Potencia de 1 Hp 60 Hz 3,450 rpm Voltaje de alimentación 120 voltios
Motor de agitación	Tipo Monofásico Potencia ¼ de Hp 60 Hz 1,500 rpm Voltaje de alimentación 120 voltios
Agitador del tanque de alimentación	Tipo Turbina con paletas inclinadas D= 32 cm Ubicación lateral para evitar vórtices en el orificio de desagüe.

3.0 OPERACIÓN DEL FILTRO PRENSA

Para la operación del filtro prensa es necesaria la participación de tres personas y, las etapas de operación han sido clasificadas en 3 partes: Antes del Arranque, Durante la Filtración y Después de la Filtración, descritas en las secciones 3.1, 3.2, 3.3. La Fig. 3.1, muestra un esquema general del sistema de filtración con la correspondiente identificación de la piezas y accesorios.

3.1 Antes del Arranque

- a) Cerciorarse que el tanque de alimentación (TA), este lleno en sus dos terceras partes
- b) Colocar las placas y marcos en el orden correlativo, tomando como referencia la parte posterior del banco
- c) Colocar las lonas sobre los marcos verificando que no queden arrugas.
- d) Realizar cierre mecánico del filtro prensa con ayuda del volante (Vo), del equipo.
- e) Introducir las mangueras en los conectores laterales de los marcos.
- f) Cerrar la válvula de reciclo (V4)
- g) Cerrar las válvulas de drenaje de los tanques (V5 y V6)
- h) Llevar nivel del tanque de recolección de filtrado hasta su punto de referencia el cual es el inicio del tubo de vidrio.
- i) Abrir completamente la válvula de salida de la bomba (V3)

- j) Abrir la válvula de salida del tanque de alimentación (V2), controlando nivel de presión de trabajo con ayuda del manómetro instalado en la bomba.
- k) Adicionar al tanque de alimentación ayuda de filtración tomando su peso y poner en marcha el agitador (A) por lo menos 3 minutos antes de encender la bomba.
- l) Encender la bomba (BM).

3.2 Durante la Filtración

- a) Observar la presión de trabajo con ayuda del manómetro de la bomba y regular la válvula de salida del tanque de alimentación (V2), poco a poco hasta obtener una presión de trabajo deseada.
- b) Restringir la válvula de salida (V3), ya sea abriéndola o cerrándola con la finalidad de obtener presiones deseadas de trabajo.
- c) Observar la presión de tal manera que no sobrepase 55 psi.
- d) Apagar la bomba inmediatamente cuando la presión sea mayor de 55 psi
- e) Asegurarse de que el tanque de alimentación (TA) no se quede vacío durante la operación de filtrado.

Durante este proceso se toman datos de tiempo de filtración y volumen de líquido filtrado el cual es tomado en el medidor de nivel que se encuentra en el tanque de recolección, los datos están dados en Litros.

3.3 Después de la Filtración

- a) Aflojar volante (A) del filtro prensa.
- b) Desconectar las mangueras de los marcos (M)
- c) Sacar los marcos junto con las lonas para evitar que la torta se destroce
- d) Colocar la torta en un recipiente adecuado
- e) Lavar las lonas, placas y marcos
- f) Liquidar los tanques si no se continua con proceso de filtración y lavarlos, teniendo cuidado de no botar la solución sobrante, del tanque de alimentación.

Luego de haber finalizado el proceso de filtración es recomendable un lavado a la bomba con suficiente cantidad de agua para que no queden residuos de ayudas de filtración

Tomar dato de masa retenida en marcos al final de la filtración para tener referencia si se han tenido pérdidas de ayudas de filtración durante el proceso de filtración.

3.4 Pruebas de Filtración.

A fin de evaluar el funcionamiento del filtro prensa construido, se realizaron pruebas de filtración a presión constante; dichas pruebas permiten una interpretación más sencilla de los datos que en otros casos (como velocidad constante, por ejemplo).

Se observó durante las pruebas preliminares que era posible regular la presión de alimentación al filtro mediante la válvula de alimentación de lechada (V2), lo que

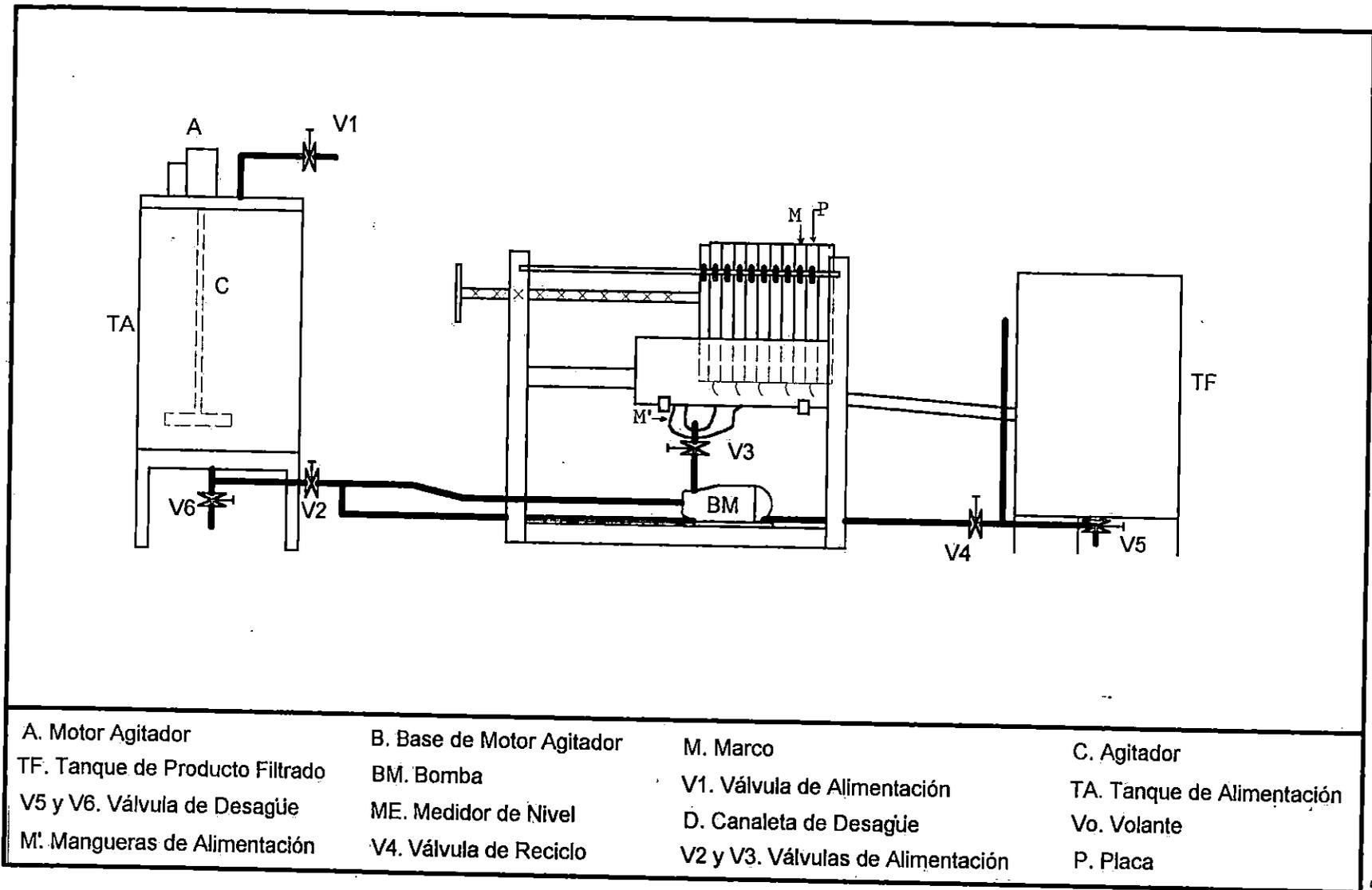


Fig. 3.1 Sistema de Filtración del Filtro Prensa a Presión para Uso a Nivel de Laboratorio

facilita la operación del filtro a varios niveles de presión. Fijándose para las pruebas a realizar los niveles de presión, la fracción masa del medio de filtración (Pectina), la Viscosidad y el espesor de la torta.

Las pruebas de filtración tenían como objetivo evaluar el valor de la resistencia específica promedio de pectina como medio de filtración, mediante la expresión $\alpha = \alpha' P^s$ (Ec.1.4); para lo cual se realizaron pruebas por triplicado a los diferentes niveles de presión, colectando datos de volumen filtrado en función del tiempo y fijando las variables de operación.

- a) Viscosidad del agua (μ), se tomó, de acuerdo con McCabe y Smith (1967), con un valor de 0.886 cP, u 8.86×10^{-4} kg/m-s, a $T=25^\circ\text{C}$.
- b) Area de filtración (A) fue de 0.7200 m^2 (aproximadamente 8 pie^2), en concordancia con lo definido en la sección 2.4.
- c) Valores de presión para cada nivel 10, 15, 20, 25 y 30 Psi
- d) Masa de sólidos de la torta seca por unidad de volumen de filtrado(w), se determinó a partir de la ecuación 1.3, así:

$$w = \frac{c}{1 - [m-1] \left(\frac{c}{p} \right)} \quad (1.3)$$

Donde:

- c: Concentración de sólidos en la lechada, se obtiene multiplicando la masa de pectina utilizada (6 kg) por la fracción de sólidos secos de la misma, con 40 días de secado al aire, según el cuadro 3.1 (0.850), y dividiendo entre el volumen de agua utilizado ($0.4 \text{ m} \times 0.7161 \text{ m}^2 = 0.28644 \text{ m}^3$). Su valor es de 17.8 kg/m^3 .

m: Relación de masas entre torta húmeda y torta seca, y es igual al inverso de la fracción de pectina seca de la torta húmeda (0.3085, del cuadro 3.1). Su valor es 3.281, y

ρ : Densidad del filtrado, que en el caso de las pruebas realizadas, es agua, por lo que se tomó su densidad con un valor de 1000 kg/m^3 .

El valor de w, de acuerdo a la ecuación 1.3 es por lo tanto de 18.55 kg/m^3 .

En el cuadro 3.2 se muestra, el detalle de la torta obtenida y de las masas de marcos y lonas en tres diferentes pruebas de filtración, datos que se presentan como información adicional para observar el comportamiento de la torta.

Los datos recolectados en las pruebas de laboratorio se tabulan en el cuadro 3.3.

3.4.1. Análisis de resultados.

El primer paso en el análisis de resultados de las pruebas fue preparar gráficas, para cada una de las cinco pruebas a presión constante, de $\Delta t/\Delta V$ contra V_{prom} , donde $V_{\text{prom}} = (V_1 + V_2) / 2$ para cada incremento de volumen de filtrado, y considerando el tiempo promedio de las tres réplicas para cada presión.

Los datos y cálculos para los cinco niveles de presión se muestran en el cuadro 3.4, y la gráfica de los mismos en las figuras 3.2 a 3.6; en la figura 3.7 se muestran las líneas de tendencia para los cinco niveles de presión.

Cuadro 3.1. Fracción de Pectina Seca y de Humedad de Torta de Filtración en Diferentes Etapas de Secado al Aire. Los Datos se Obtuvieron de Muestras Secadas en Estufa a 60 °C, por Duplicado.

Etapa de Secado	Fracción de Pectina Seca (x)	Fracción de Humedad (1-x)
• Pectina proveniente del envase	0.9900	0.0100
• Torta de filtración	0.3085	0.6915
• Pectina de torta, secada al aire durante 6 días	0.4000	0.6000
• Pectina de torta, secada al aire durante 10 días	0.4520	0.5480
• Pectina de torta, secada al aire durante 40 días	0.8500	0.1500

Cuadro 3.2. Masa (en kg) de Torta Obtenida en Tres Pruebas de Filtración de Pectina, de Marcos, y de Marcos con Lona Húmeda.

1 No.	2 Marco	3 Marco y lona	4 Marcos llenos			5 Torta (4 - 3)		
			a	b	c	a	b	c
2	1.32	2.30	3.94	4.10	4.15	1.64	1.80	1.85
4	1.40	2.38	4.14	4.20	4.20	1.76	1.82	1.87
6	1.30	2.25	3.94	4.05	4.05	1.69	1.80	1.85
8	1.28	2.20	3.88	3.30	3.30	1.68	1.10	1.15
Total	5.30	9.13	15.90	15.75	15.85	6.77	6.52	6.72
Promedio de torta obtenida						6.67		

Se hizo un ajuste por el método de mínimos cuadrados para determinar la pendiente y el intercepto de cada una de las líneas, en el cual se descartaron los primeros puntos de todas ellas para eliminar la dispersión excesiva de éstos, y que se consideró causada por la inestabilidad inicial de la filtración, los que no siguen la tendencia de una línea recta, que se refleja al alcanzarse el estado estable.

La pendiente de cada línea de las figuras 3.2 a 3.7 es K_p , de la Ec. 3.1 en segundos por litro al cuadrado. El factor de conversión para convertirla a segundos por metro a la sexta es 10^6 .

El intercepto de cada línea con el eje de ordenadas es C' de la Ec. 3.2, en segundos por litro. El factor de conversión para obtener segundos por metro cúbico es 10^3 . Las pendientes e interceptos, en las unidades medidas y convertidas se dan en el cuadro 3.5.

De los valores de K_p y C' en el cuadro 3.5, se determinan la correspondiente resistencia específica de la torta (α), y, la resistencia del medio filtrante (r), aplicando las ecuaciones 1.14 y 1.15 de la sección 1.6.5, las cuales se modificaron a la forma:

$$\alpha = \frac{A^2 P K_p}{w \mu} \quad (3.1)$$

y

$$r = \frac{A P C'}{\mu} \quad (3.2)$$

Por haber trabajado los datos de volumen y tiempo en la forma diferencial, con la presión constante, definida por la ecuación 1.1, con el fin de facilitar el manejo de los datos experimentales.

Finalmente, sustituyendo los valores calculados de área, viscosidad y masa de sólidos secos en la torta, α y r , para las diferentes pruebas, se obtienen de la siguiente forma:

$$\alpha = 31.54 P K_p \quad (3.3)$$

$$r = 812.64 P C' \quad (3.4)$$

Los resultados de los cálculos mediante las ecuaciones 3.3 y 3.4 se muestran en el cuadro 3.4.

Finalmente, se trazó un gráfico logarítmico de α contra P , tal como se muestra en la figura 3.8. En ella se observa cierta dispersión de datos, pero se estimó una pendiente para una línea de ajuste igual a 1.012. Este valor de pendiente corresponde a s , que equivale al factor de compresibilidad de la torta, considerándose por lo tanto como una torta muy compresible. La constante α' se evalúa entonces seleccionando un valor adecuado de presión y haciendo la lectura correspondiente del valor de α :

$$\alpha' = \frac{\alpha}{P^s} \quad (3.5)$$

Esto da lugar a un valor para $\alpha' = 3.4 \times 10^5$. Por lo tanto, para pectina comercial grado analítico, se puede estimar el valor de α a diferentes niveles de presión por la ecuación:

$$\alpha = 3.4 \times 10^5 P^{1.012} \quad (3.6)$$

Cuadro 3.3. Datos de Tiempo y Volumen de Filtrado para Pruebas de Filtración Realizadas a Diferentes Niveles de Presión.

V (l)	Presión = 10 psi				Presión = 15 psi				Presión = 20 psi				Presión = 25 psi				Presión = 30 psi			
	t ₁	t ₂	t ₃	t _{prom} (s)	t ₁	t ₂	t ₃	t _{prom} (s)	t ₁	t ₂	t ₃	t _{prom} (s)	t ₁	t ₂	t ₃	t _{prom} (s)	t ₁	t ₂	t ₃	t _{prom} (s)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	35	36	36	35.67	24	24	24	24.00	18	17	17	17.33	15	15	15	15.00	29	29	29	29.00
10	63	64	65	64.00	43	42	41	42.00	34	33	32	33.00	30	31	31	30.67	44	45	43	44.00
15	81	82	83	82.00	57	59	58	58.00	47	45	45	45.67	41	42	42	41.67	52	52	51	51.67
20	102	103	106	103.67	75	75	75	75.00	56	55	53	54.67	51	52	52	51.67	61	60	60	60.33
25	126	127	127	126.67	90	91	91	90.67	66	67	67	66.67	62	63	64	63.00	71	71	71	71.00
30	152	153	155	153.33	104	106	108	106.00	79	78	78	78.33	72	73	75	73.33	81	83	81	81.67
35	177	178	178	177.67	123	122	123	122.67	92	90	90	90.67	84	85	86	85.00	92	93	92	92.33
40	201	202	203	202.00	139	139	140	139.33	103	102	101	102.00	95	96	97	96.00	101	103	100	101.33
45	226	228	228	227.33	156	157	158	157.00	117	115	115	115.67	105	107	108	106.67	112	114	111	112.33
50	257	257	258	257.33	172	173	173	172.67	129	128	127	128.00	117	118	118	117.67	122	124	121	122.33
55	283	283	284	283.33	188	189	189	188.67	142	141	140	141.00	128	129	129	128.67	133	134	132	133.00
60	307	308	308	307.67	204	206	206	205.33	157	156	155	156.00	140	141	143	141.33	145	146	145	145.33
65	330	332	335	332.33	223	224	224	223.67	170	169	168	169.00	151	152	154	152.33	156	157	156	156.33
70	358	359	361	359.33	239	240	241	240.00	187	186	186	186.33	164	165	165	164.67	171	173	170	171.33
75					257	259	259	258.33	199	199	198	198.67	176	176	177	176.33				
80					278	279	280	279.00	213	214	214	213.67	190	191	191	190.67				

Cuadro 3.4. Datos de $\Delta t/\Delta V$ contra V_{prom} para las Diferentes Pruebas de Filtración a Presión Constante.

V (l)	V_{prom}	10 psi $\Delta t/\Delta V$	15 psi $\Delta t/\Delta V$	20 psi $\Delta t/\Delta V$	25 psi $\Delta t/\Delta V$	30 psi $\Delta t/\Delta V$
0	0	7.13	4.80	3.47	3.00	5.80
5	2.5	5.67	3.60	3.13	3.13	3.00
10	7.5	3.60	3.20	2.53	2.20	1.53
15	12.5	4.33	3.40	1.80	2.00	1.73
20	17.5	4.60	3.13	2.40	2.27	2.13
25	22.5	5.33	3.07	2.33	2.07	2.13
30	27.5	4.87	3.33	2.47	2.33	2.13
35	32.5	4.87	3.33	2.27	2.20	1.80
40	37.5	5.07	3.53	2.73	2.13	2.20
45	42.5	6.00	3.13	2.47	2.20	2.00
50	47.5	5.20	3.20	2.60	2.20	2.13
55	52.5	4.87	3.33	3.00	2.53	2.47
60	57.5	4.93	3.67	2.60	2.20	2.20
65	62.5	5.40	3.27	3.47	2.47	3.00
70	67.5		3.67	2.47	2.33	
75	72.5		4.13	3.00	2.87	
80	77.5					

Cuadro 3.5. Valores de K_p , C' , r y α para Pruebas de Filtración.

Psi	Caída de presión $-\Delta p$	Pendiente K_p		Intercepto C'		r m^{-1} $\times 10^{-10}$	α m/kg $\times 10^{-10}$
		$s/l^2 \times 10^3$	s/m^6	s/l	s/m^3		
10	68.95	12.858	12.858	4.496	4.496	25.193	2.794
15	103.42	8.645	8,645	2.997	2,997	25.185	2.819
20	137.89	12.425	12,425	2.022	2,022	22.656	5.404
25	172.37	7.092	7,092	1.967	1,967	27.547	3.855
30	206.84	15.851	15,851	1.488	1,488	25.015	10.341

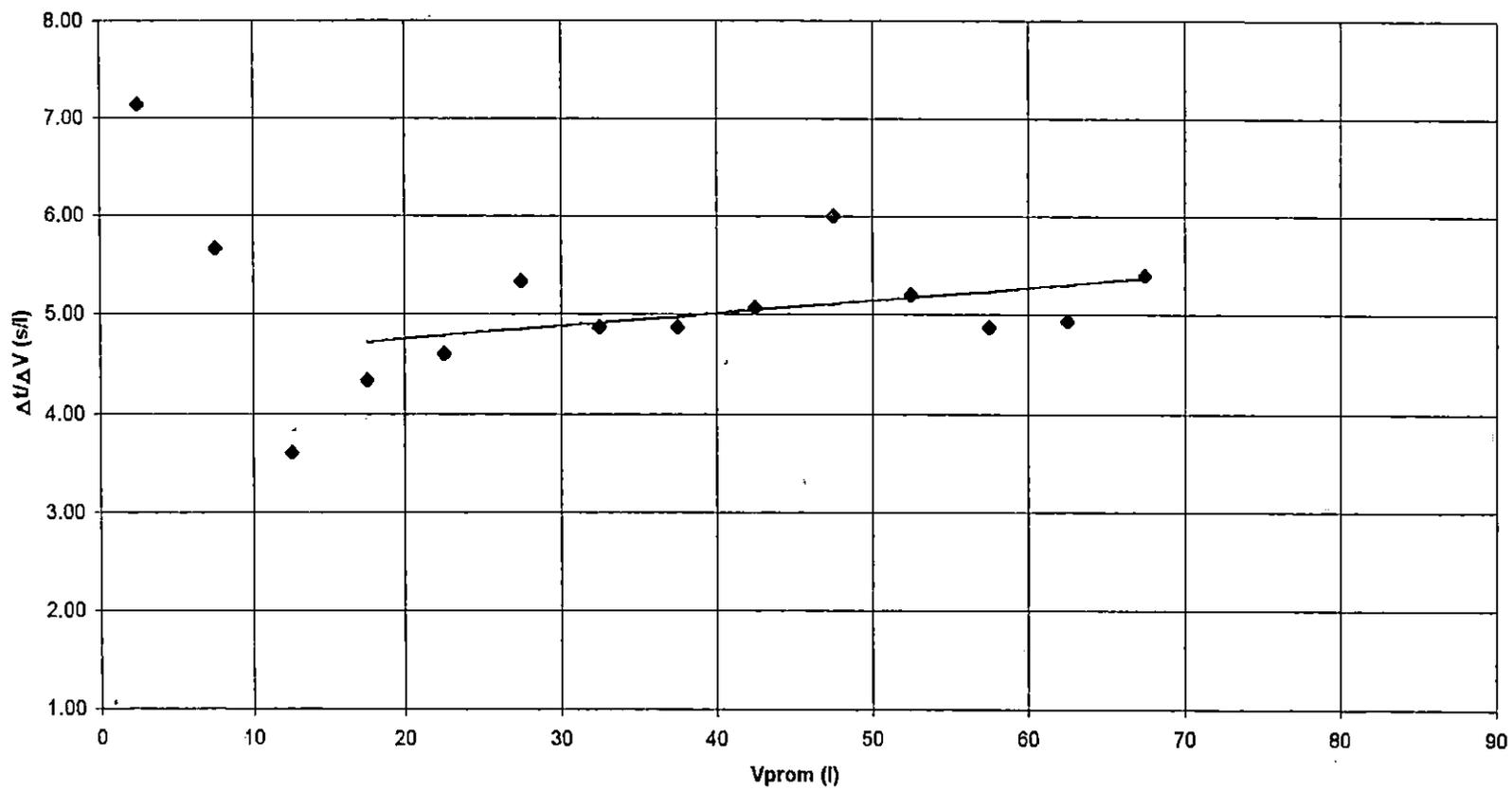


Fig. 3.2 Trazado de $\Delta t/\Delta V$ contra V_{prom} para Pruebas de Filtración a 10 psi

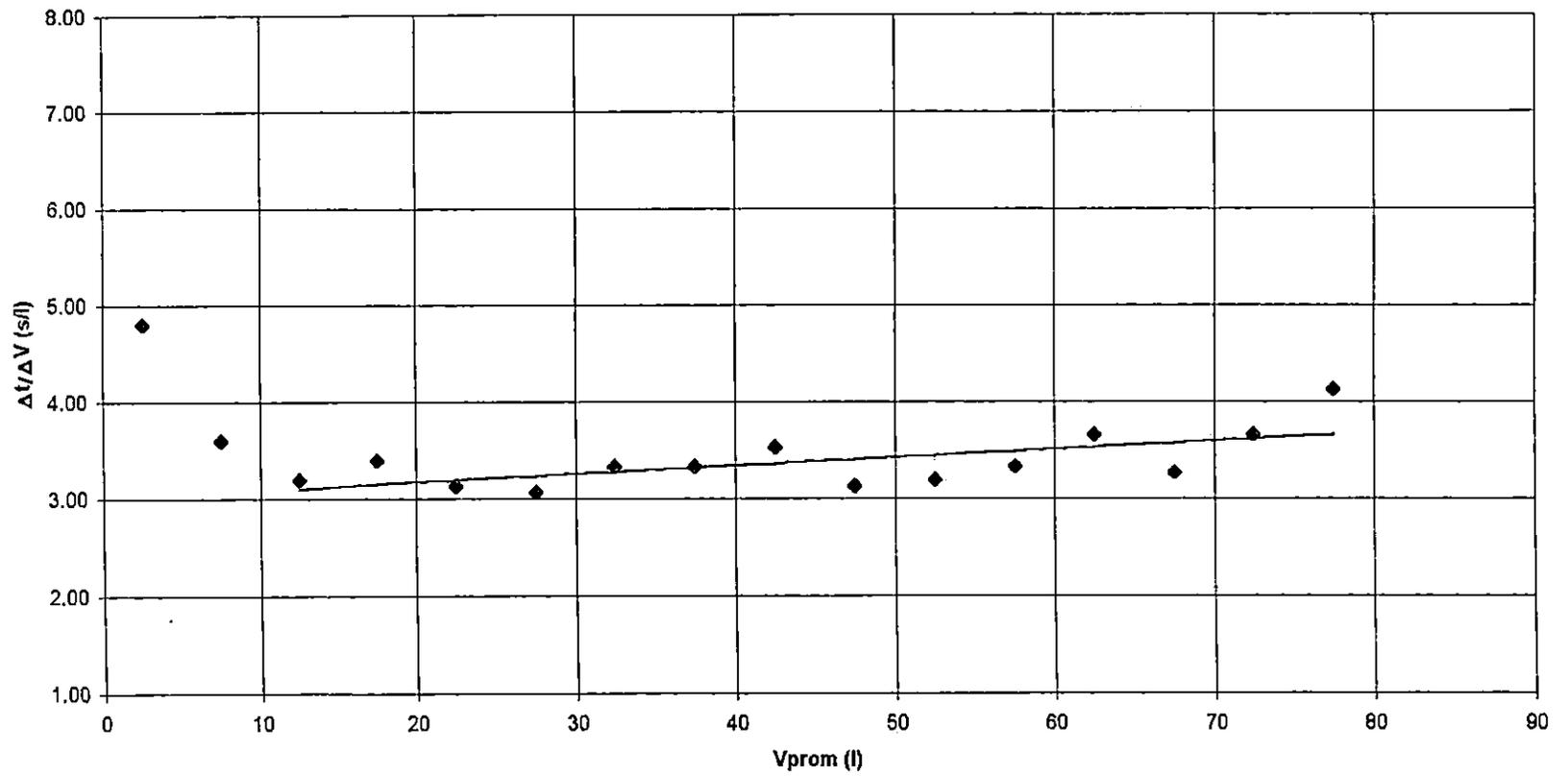


Fig. 3.3 Trazado de $\Delta t/\Delta V$ contra V_{prom} para Pruebas de Filtración a 15 psi

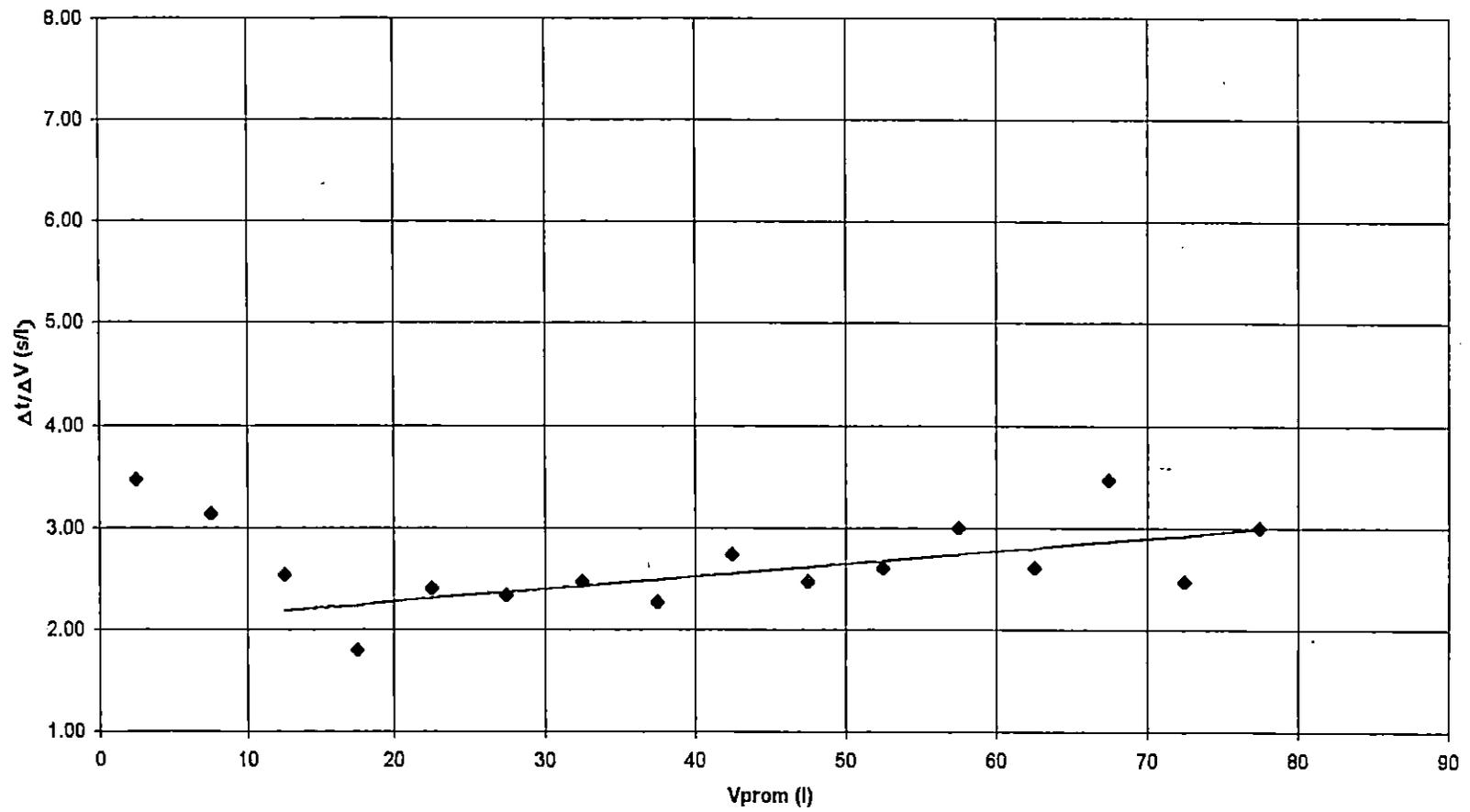


Fig. 3.4 Trazado de $\Delta t/\Delta V$ contra V_{prom} para Pruebas de Filtración a 20 psi.

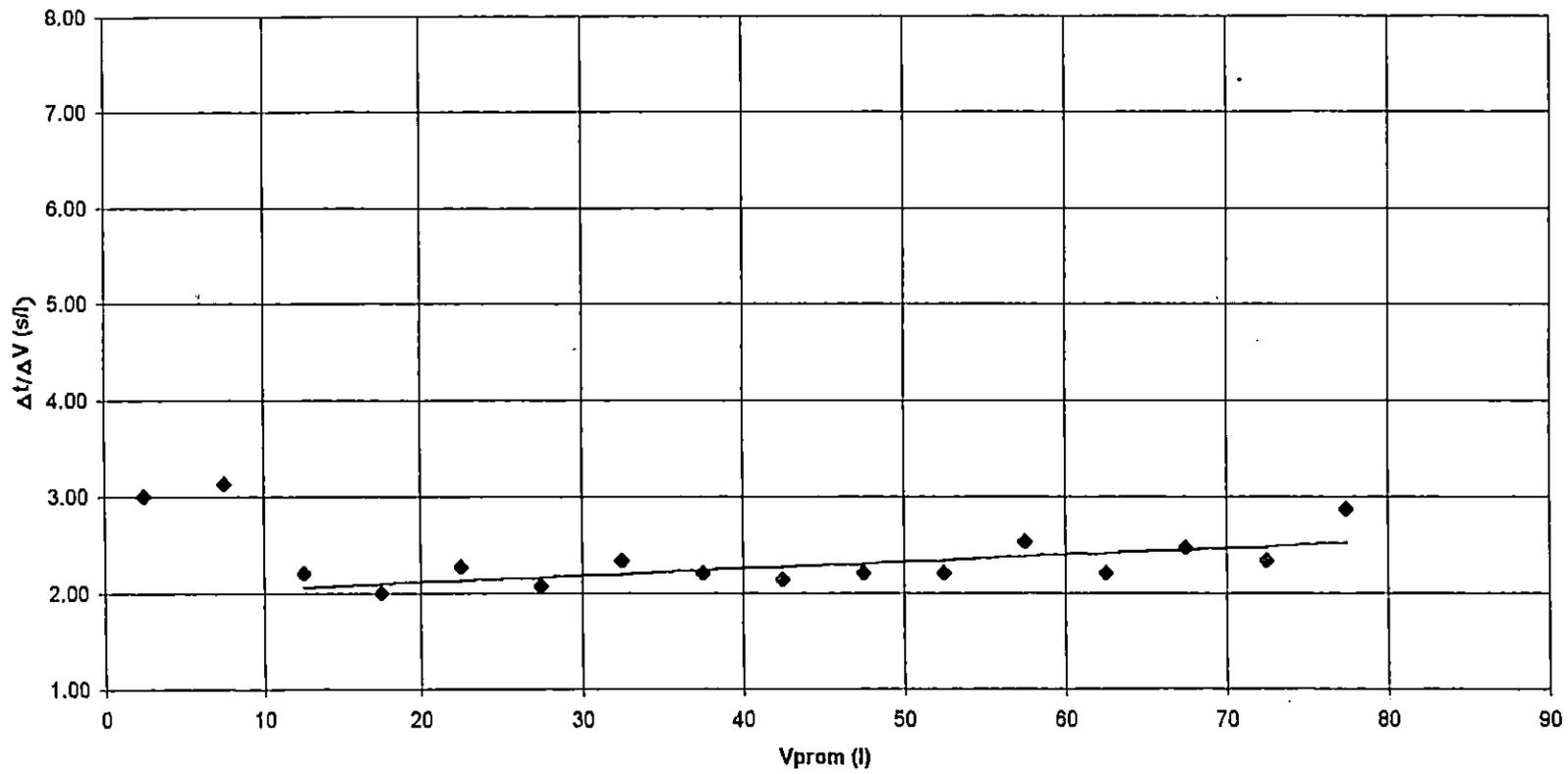


Fig. 3.5 Trazado de $\Delta t/\Delta V$ contra V_{prom} para Pruebas de Filtración a 25 psi.

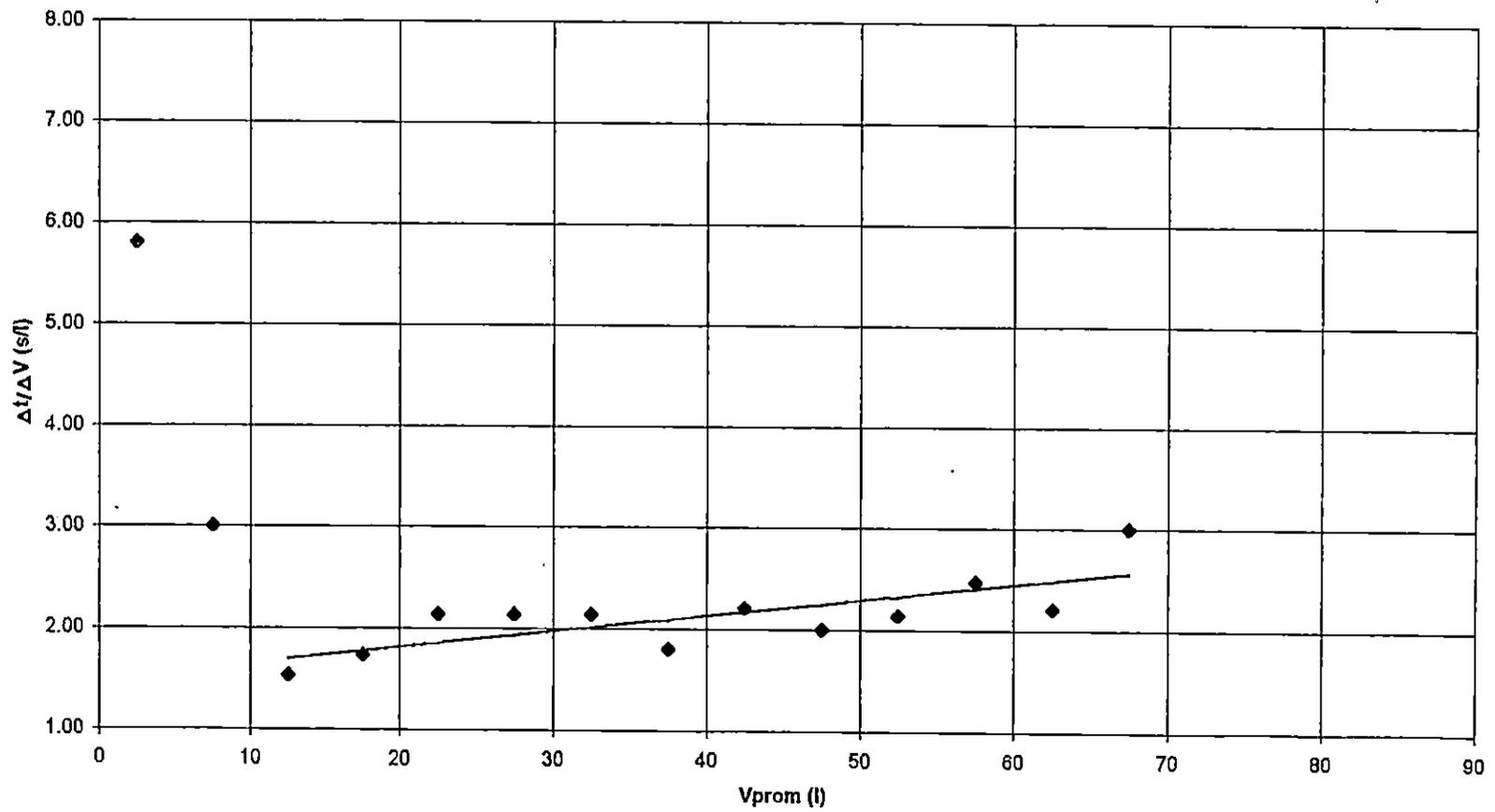


Fig. 3.6 Trazado de $\Delta t/\Delta V$ contra V_{prom} para Pruebas de Filtración a 30 psi.

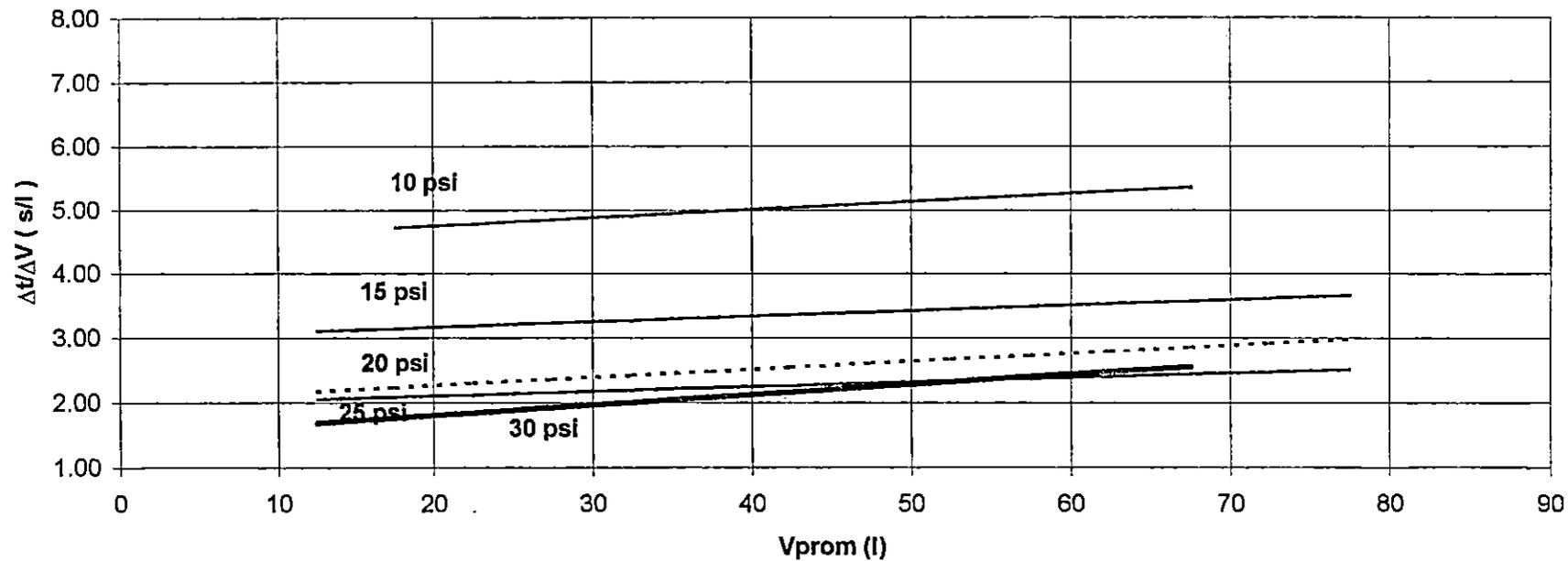


Fig. 3.7 Trazado de $\Delta t/\Delta V$ contra V_{prom} para Pruebas de Filtración a Diferentes Presiones.

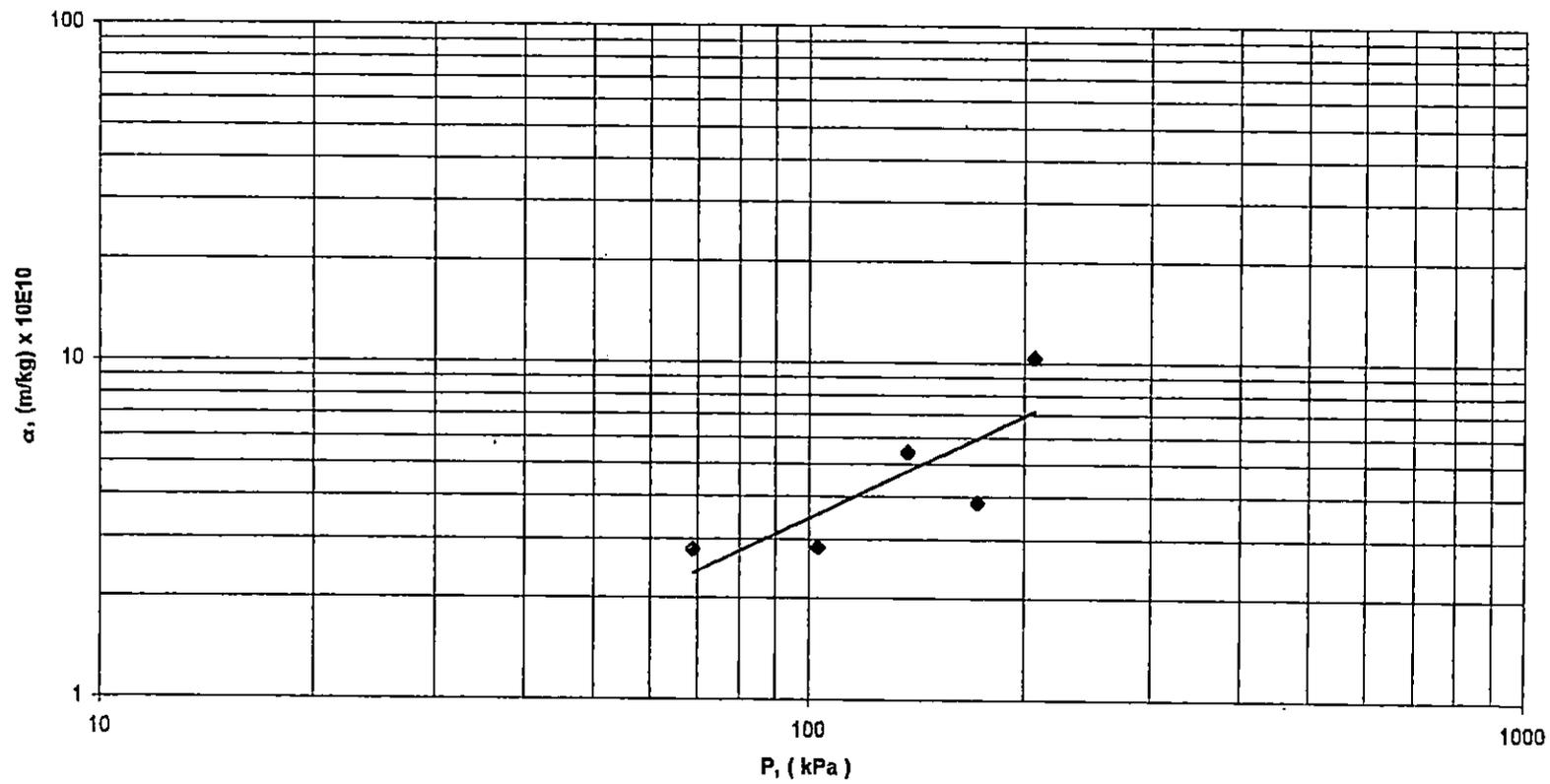


Fig. 3.8 Gráfico Logarítmico de α_r , (Resistencia Específica de Torta), contra P , (Presión), para Pruebas de Filtración con Pectina.

4.0 CONCLUSIONES

1. El Filtro Prensa construido cumple su propósito de separación sólido/líquido en forma satisfactoria para el caso de la filtración de pectina. El mismo permite la obtención de datos necesarios para la determinación de la "resistencia específica de la torta", (α) y la "resistencia del medio" (r), los cuales dependen de la lechada filtrada y de la presión.
2. La cantidad de torta en masa, formada luego de cada lote de filtración resultó ser aproximadamente del mismo peso (6.67 Kg), para diferentes presiones de trabajo; es decir, no se detectó el efecto de la compresibilidad; sin embargo se cree contar con un comportamiento complejo de la pectina al ser humedecida y filtrada; debido a que el factor de compresibilidad evaluado para la Pectina ($s=1.012$), resulta ser mayor que el reportado por la literatura para tortas compresibles de lechadas comerciales en sustancias varias ($s < 1.0$), y para tortas incompresibles se reporta un valor de $s=0$.
3. A través del comportamiento mecánico del Filtro se comprueba, que la resina Poliester reforzada con fibra de vidrio presentan resultados satisfactorios en cuanto a resistencia mecánica, costos de fabricación y facilidad para ser trabajada después del moldeo.

4. La Resina Poliester resultó ser inerte al efecto de suspensiones separadas de HCl y NaOH en concentraciones de 0.5, 1, 1.5 y concentrado lo que disminuye el riesgo de contaminación del producto por efecto químico de estas sustancias; tal como lo reportan datos de literatura y de fabricantes para varias sustancias químicas. Por lo que se considera como material adecuado para la fabricación de marcos y placas.

5.0 RECOMENDACIONES

1. Es recomendable utilizar diferentes materiales de suspensión para poder verificar el funcionamiento adecuado del filtro prensa, y elegir una lechada que se adapte mejor a las necesidades didácticas de la Escuela en cuanto a una correspondencia más cercana entre los datos obtenidos de cada prueba de filtración y la teoría.
2. Para mejorar el comportamiento del flujo de filtrado en los niveles más altos de presión de trabajo, se sugiere modificar el diámetro del orificio de salida del tanque de alimentación de lechada, colocando uno del mismo diámetro de la admisión de fluido de la bomba ($D=1''$).
3. Se puede reducir el tamaño de los tanques de alimentación y descarga del filtro, a fin de optimizar el espacio en las instalaciones de la Planta Piloto, dado que a medida que se utilice una lechada más concentrada, ésta llenará más rápidamente los marcos del filtro, siendo necesaria una menor cantidad de aquélla.
4. Durante la operación del filtro, es conveniente que las lonas se laven y se sequen después de cada período de pruebas, y que se revisen periódicamente para buscar roturas, ya que si éstas ocurren, no se producirá la separación deseada.
5. Se observó la conveniencia de instalar una línea de reciclo del tanque de filtrado al de alimentación, con el objetivo de reutilizar el agua en caso de que se realicen varias pruebas consecutivas, pues esto significa un ahorro de agua potable de por lo menos 100 litros por lote de lechada, y eliminaría los derrames producidos cuando se efectúa este reciclo en forma manual.

6. Se recomienda la instalación de interruptores para la bomba y el agitador, ya que esto permitiría una instalación permanente del cableado de alimentación eléctrica de ambos motores, a la vez que facilitaría la operación del filtro.

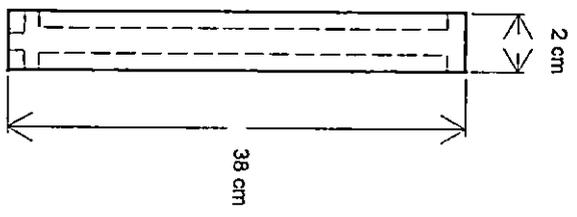
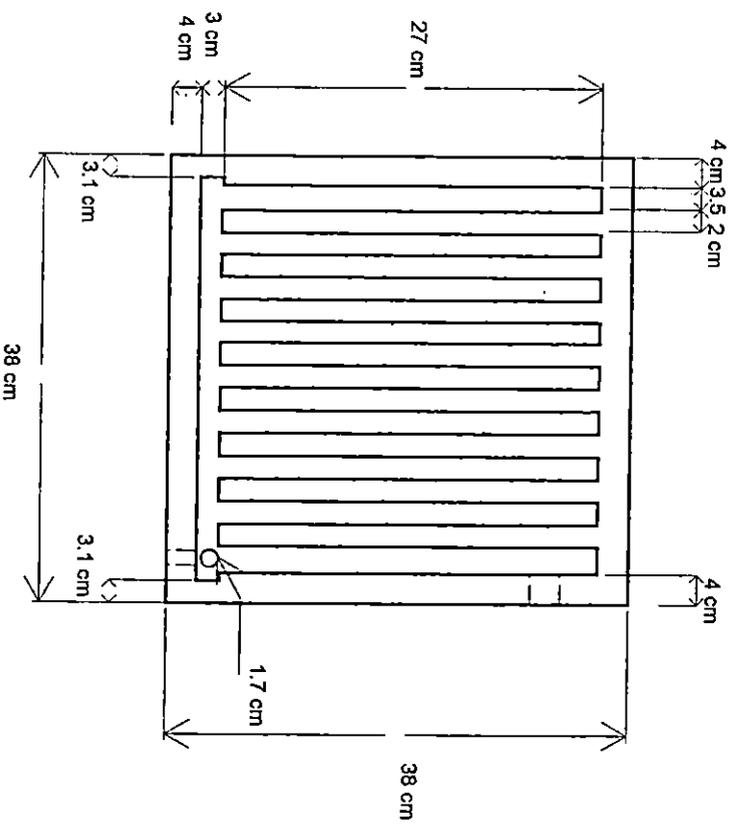
6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Cardona, Carlos (1997), Entrevista Personal, "EL ASTILLERO S.A De C.V.", San Salvador.
2. Foust, A. S., Wansal, L. A. y Clump, C. V. (1981), "Principles of Unit Operation", John Waylen & Sons, Segunda Edición, New York.
3. Hilliard Corporation (1996), "Hilliard Star Sistem Filter Press", [http://w ww Hilliardcorp.com/ssd.html](http://www.Hilliardcorp.com/ssd.html), Elmira New York.
4. Jacobs, Louis J., et al. (1995), "Filtracion Sistema Sólido-Líquido", capítulo 19. del Manual del Ingeniero Químico, Perry, Robert, et al., Sexta Edición. Volumen II, McGraw Hill, México. Págs. 19-83 y 19-95.
5. McCabe, W.L. & Smith, J. H. (1981). "Operaciones Básicas de Ingeniería Química", Editorial Reverté S.A. Volumen 2, Edición en Español. España, Págs. 911-946.
6. Phonix Process Equipment Co. Filter Press (1997), "Economical, Dependable, Filter Press", <http://www.Dewater.com/filtpres.htm>, Louis Bille, Kentucky.
7. Segovia, Adolfo (1997), Entrevista Personal, Profesor de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de El Salvador, San Salvador.
8. Brown, T. R., (1932), "Designing Batch Pressure Filters" Chemical Engineering Progress, Volumen 89, No 15, McGraw Hill, New York.

9. Wrotnowski A. C. (1962), "Nonwoven Filter Media", Chemical Engineering Progress, Volumen 58, No 12, McGraw Hill, New York. Págs. 61-67

7.0 ANEXOS

Diagramas del Diseño del Filtro Prensa



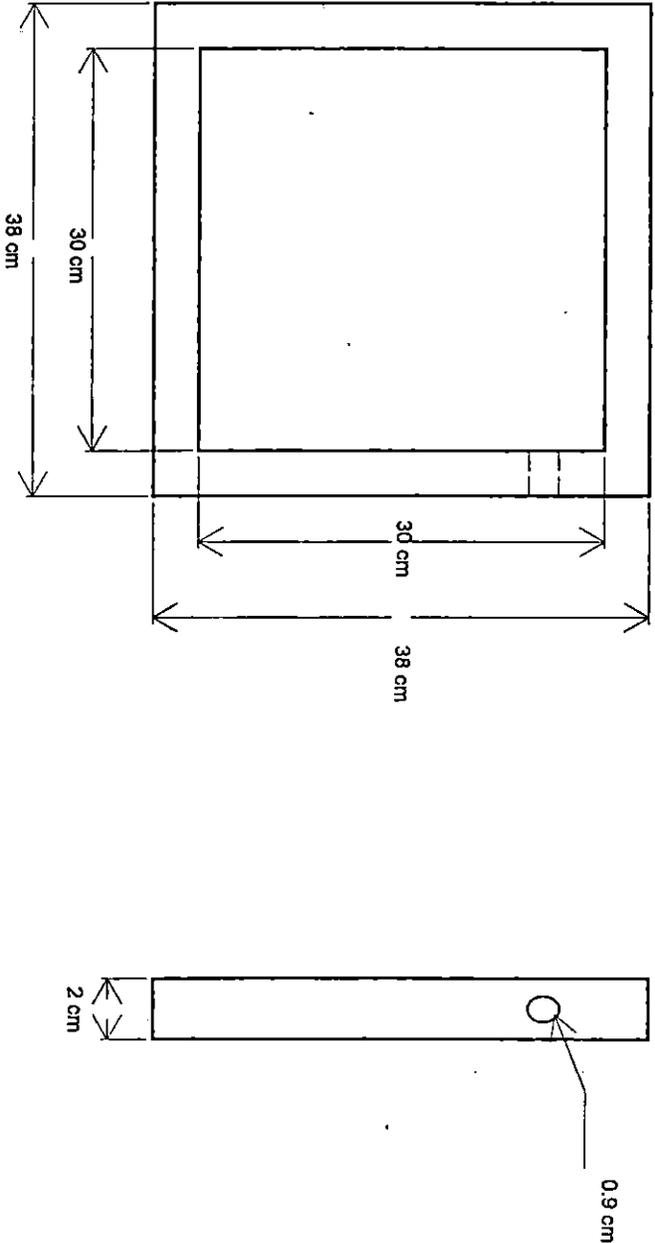
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION
 DE UN FILTRO PRENSA A NIVEL
 LABORATORIO

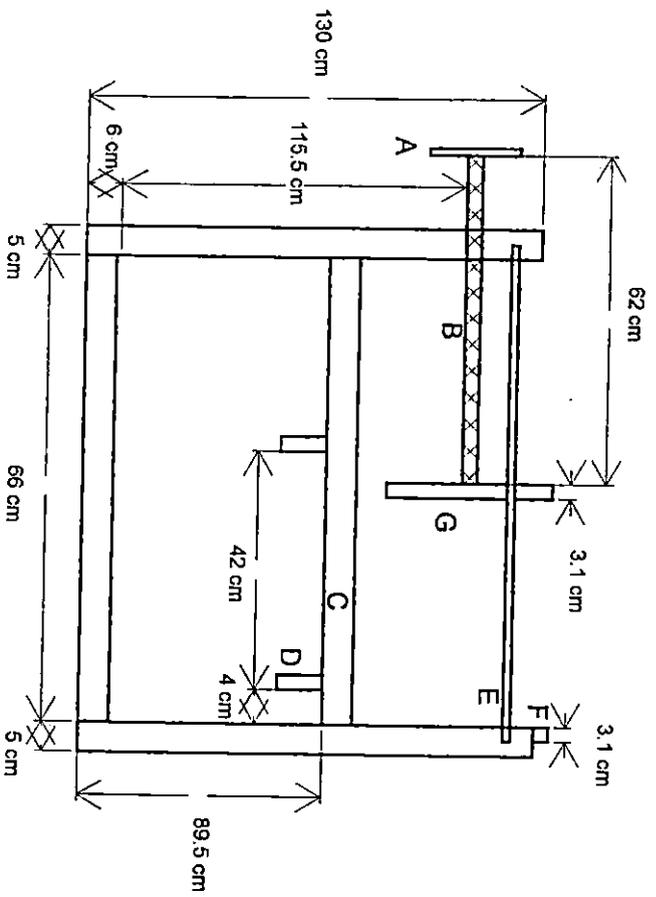
PIEZA: PLACA
 MATERIAL: RESINA Y
 FIBRA DE VIDRIO
 FABRICACION: COLADO

SIN ESCALA

A1

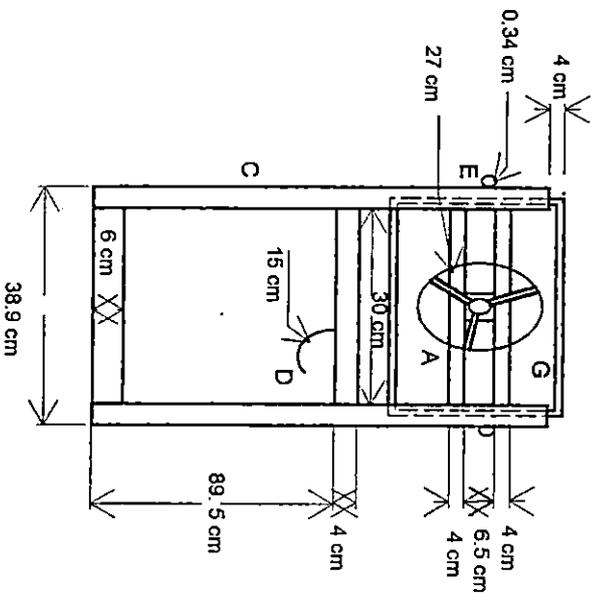


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA	TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FILTRO PRENSA A NIVEL DE LABORATORIO	PIEZA: MARCO MATERIAL: RESINA Y FIBRA DE VIDRIO FABRICACION: COLADO	SIN ESCALA A2
--	--	--	------------------



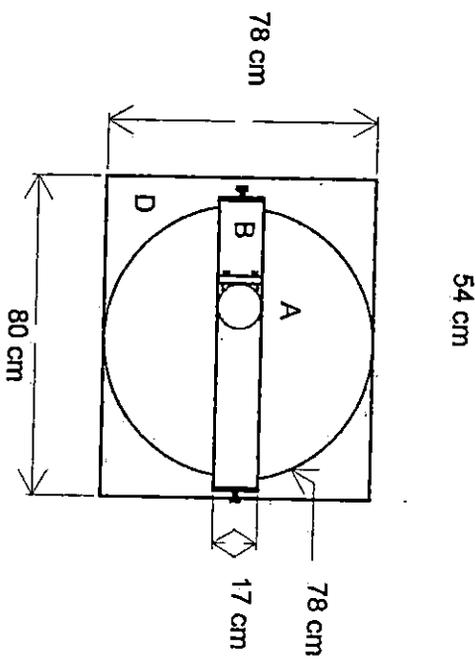
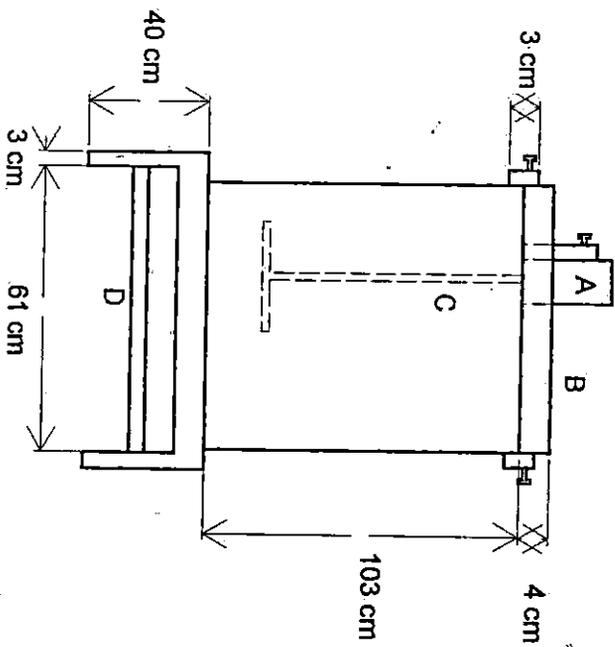
- A. Volante
- B. Tornillo de Cierre
- C. Banco Metálico
- D. Soporte de Canaleta
- E. Soporte de Placas y Marcos
- F. Placa de Presión (frontal)
- G. Placa de Presión (trasera)

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FILTRO PRENSA A NIVEL DE LABORATORIO	PIEZA: BANCO METALICO VISTA LATERAL MATERIAL: HIERRO FABRICACION: COLADO	SIN ESCALA
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA				
A3				



- A. Volante
- C. Banco Metálico
- D. Soporte de Canaleta
- E. Soporte de Placas y Marcos
- G. Placa de Presión (trasera)

<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p>	<p>TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FILTRO PRENSA A NIVEL DE LABORATORIO</p>	<p>PIEZA: BANCO METALICO VISTA FRONTAL MATERIAL: HIERRO FABRICACION: COLADO</p>	<p>SIN ESCALA A4</p>
---	---	--	-----------------------------------



- A. Motor Agitador
- B. Base de Motor Agitador
- C. Agitador
- D. Base de Tanque de Alimentación

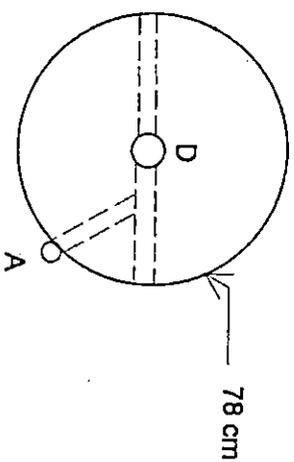
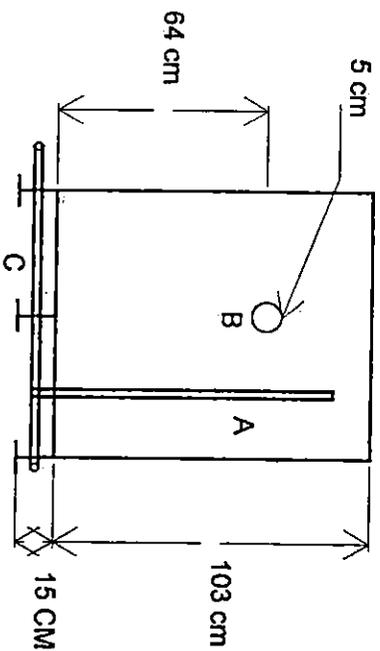
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION
 DE UN FILTRO PRENSA A NIVEL
 DE LABORATORIO.

PIEZA: TANQUE DE
 ALIMENTACION
 MATERIAL: HIERRO
 FABRICACION: COLADO

SIN ESCALA

A5



- A. Medidor de Nivel
- B. Entrada de Líquido Filtrado
- C. Líneas de Resiclo y Drenaje
- D. Drenaje

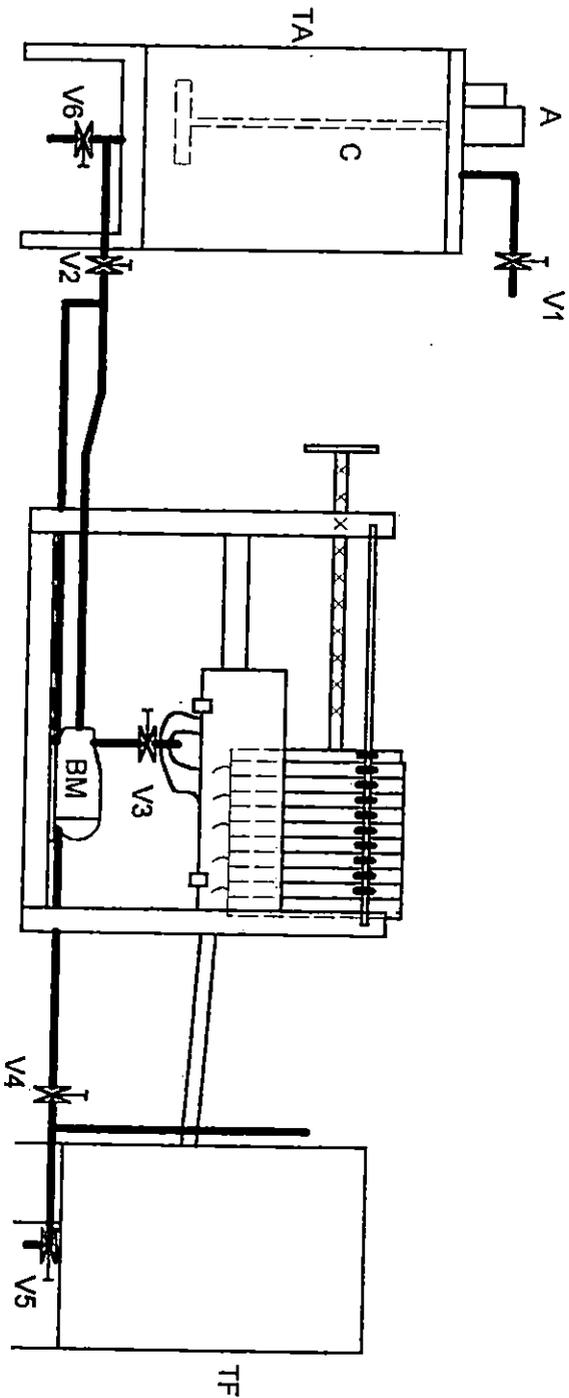
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION
 DE UN FILTRO PRENSA A NIVEL
 DE LABORATORIO

PIEZA: TANQUE DE
 LIQUIDO FILTRADO
 MATERIAL: HIERRO
 FABRICACION: COLADO

SIN ESCALA

A6



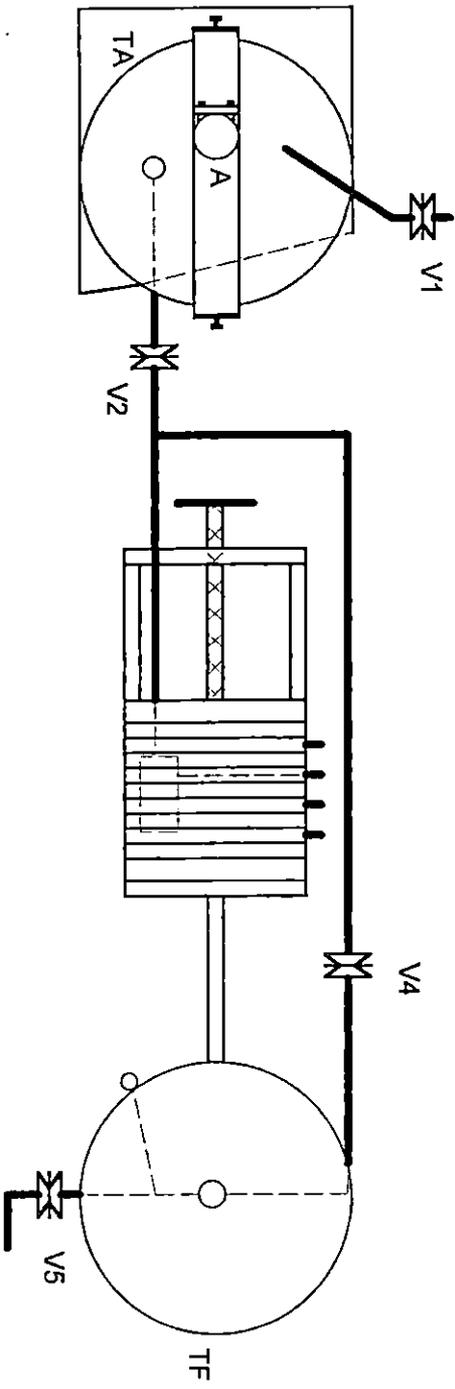
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION
 DE UN FILTRO PRENSA A NIVEL
 DE LABORATORIO

FILTRO PRENSA
 VISTA FRONTAL
 MATERIAL: HIERRO
 RESINA Y FIBRA DE VIDRIO

SIN ESCALA

A7



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCION
 DE UN FILTRO PRENSA A NIVEL
 DE LABORATORIO

FILTRO PRENSA
 VISTA EN PLANTA
 MATERIAL: HIERRO
 RESINA Y FIBRA DE VIDRIO

SIN ESCALA

A8