

UNIVERSIDAD DE NUEVO LEON

Facultad de Ciencias Químicas



DETERMINACION DE LAS CONSTANTES  
DE FILTRACION, EN UN FILTRO  
PRENSA SIN LAVADO.

TESIS QUE PARA SU EXAMEN PROFESIONAL  
DE INGENIERO QUIMICO  
PRESENTA EL PASANTE

*Artemio Tamez Valdés*

Monterrey, N. L.

Noviembre de 1958.

T  
TP1  
.F5  
T3  
c.1





1080078160

ARTEMIO TAMEZ V

D 66.T

UNIVERSIDAD DE NUEVO LEON

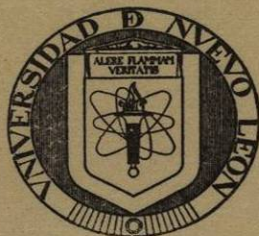
Facultad de Ciencias Químicas

BIBLIOTECA

ARTEMIO TAMEZ V.



UNIVERSIDAD DE NUEVO LEON  
Facultad de Ciencias Químicas



DETERMINACION DE LAS CONSTANTES  
DE FILTRACION, EN UN FILTRO  
PRENSA SIN LAVADO.

TESIS QUE PARA SU EXAMEN PROFESIONAL  
DE INGENIERO QUIMICO  
PRESENTA EL PASANTE

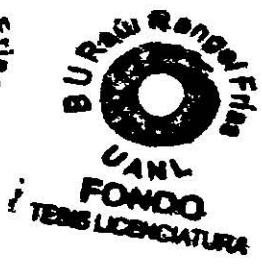
*Artemio Jomez Valdés*

Monterrey, N. L.

Noviembre de 1958.



T. 164  
T. 43





A MI MADRE.

A MIS TIOS.

A MIS HERMANOS.



# C O N T E N I D O

	pag
I . - S U M A R I O	1
II . - I N T R O D U C C I O N	
1.- Generalidades	2
2.- Teoría para filtros prensa	10
3.- Objetivo	20
III . - E Q U I P O E X P E R I M E N T A L	21
IV . - P R O C E D I M I E N T O E X P E R I M E N T A L	24
V . - D A T O S Y R E S U L T A D O S	
E X P E R I M E N T A L E S	26
VI . - D I S C U S I O N Y C O N C L U S I O N E S	38
VII . - R E S U M E N	42
VIII . - B I B L I O G R A F I A	43



## S U M A R I O

El presente trabajo trata brevemente de las generalidades de filtración, discutiendo los diferentes tipos de filtros y categorías de tortas. Un capítulo de teoría de filtración se enfoca hacia el tema de la tesis, o sean las constantes de filtración y el método experimental para calcularlas. Luego se hace mención del objetivo de la tesis.

En capítulos siguientes se explica en qué consiste el equipo usado en la experimentación (un filtro prensa que existe en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Nuevo León) y el procedimiento seguido. Los capítulos posteriores tratan de las pruebas efectuadas, citando los datos experimentales y los valores de las constantes obtenidas; se discuten los resultados y conclusiones de la parte práctica de la tesis, haciendo después un resumen de todo el trabajo.

Filtración es la operación unitaria de la Ingeniería Química, en la que se separa un sólido en suspensión de un fluido, mediante el paso de éste a través de un medio filtrante que permite el paso del fluido, pero impide el paso del sólido.

El medio filtrante se coloca en armaduras adecuadas, que junto con tubería y otros accesorios constituyen los filtros.

Los filtros pueden clasificarse de distintas maneras. Existe una teoría de filtración basada en la fuerza de empuje necesaria para hacer fluir la suspensión a través de una resistencia de acuerdo con esta teoría se puede hacer la siguiente clasificación:

- Filtros gravitacionales, en los que la fuerza es proporcionada por la presión hidrostática de una columna de suspensión.
- Filtros de presión, en los que la fuerza es proporcionada por la presión que imprime una bomba sobre la suspensión.
- Filtros de vacío, en los que la fuerza se imparte haciendo succión en la salida del fluido filtrado.

De acuerdo con el medio filtrante usado, los filtros pueden clasificarse como sigue.

- Medio filtrante formado por un sólido de grano fino (filtro de arena).
- Medio filtrante rígido (filtro de porcelana, porosa).
- Medio filtrante formado por una tela (algodón, lana, lana plástica, fibra de vidrio, etc.)
- Medio filtrante formado por una placa metálica con pequeñas perforaciones.



funcionamiento.

-Filtros intermitentes (filtros prensa, filtros de hojas)

-Filtros continuos, los que se deben subclasificar en dos casos.

Primer caso: el sólido en suspensión está en muy pequeña concentración y la resistencia del filtro varía muy poco con respecto al tiempo. Estrictamente hablando es un proceso intermitente, pero como la variación de la velocidad de filtración es muy pequeña, se considera proceso continuo.

Segundo caso: el sólido en suspensión está en grandes concentraciones. El proceso se verifica continuamente mediante la eliminación constante de la torta a medida que se forma. Los filtros continuos son rotatorios y la mayor parte son filtros de vacío.

Todavía puede hacerse otra clasificación considerando si el fluido filtrado es líquido o gas.

De todas las clasificaciones anteriores, resulta una variedad de filtros, de los cuales los más usados son:

Filtros de arena. Son los más antiguos y consisten esencialmente en un recipiente que contiene sucesivas capas de materiales sólidos que van variando desde grava gruesa en la parte inferior hasta arena fina en la parte superior; la fuerza empleada es la gravedad.

Filtros prensa. Están formados por una serie de placas y marcos que se ensamblan en forma alternada colocando entre cada uno el medio filtrante adecuado. Todo el conjunto está suspendido

de un soporte, por medio de un dispositivo mecánico o hidráulico se prensan placas y marcos para evitar la salida del fluido hacia el exterior. La suspensión que se va a filtrar pasa a través de un orificio que tienen placas y marcos, los sólidos quedan retenidos en el medio filtrante formando una torta y el fluido pasa a través del medio filtrante, escurre por unas ranuras que tienen las placas comunicándose después a una tubería común de salida formada también con perforaciones que tienen marcos y placas. Puede darse salida particular a cada placa con la ventaja de que no es necesario interrumpir la operación del filtro si de una placa determinada sale turbio el filtrado debido a alguna rotura del medio filtrante, cerrando únicamente la llave de dicha placa. Existen numerosas variantes de diseños de filtros prensa tanto en forma (cilíndricos, rectangulares, horizontales, verticales, etc.), como en materiales de construcción (madera, fierro fundido, cobre, aleaciones, etc.), habiendo también con lavado y sin lavado, de marcos y placas y de placas únicamente (placas con un rosque adecuado para permitir la depositación de la torta). La fuerza empleada es la presión impartida por una bomba.

Filtros de hojas. Consisten esencialmente en un conjunto de hojas formadas por un soporte de tela de alambre grueso, con un revestimiento que sirve de medio filtrante. En algún punto deben tener una tubería de descarga de filtrado al exterior; la suspensión por filtrar está en la parte externa, penetrando al interior de las hojas el filtrado que luego sale por la tubería de descarga; los sólidos se depositan en el lado externo de las

hojas forman la torta. Los filtros de hojas a presión requieren un tanque cerrado dentro del cual se alimenta a presión a suspensión que se quiere filtrar. Los filtros de hojas a vacío necesitan un tanque cerrado para recibir el filtrado y otro para el lavado. Existe un filtro continuo de hojas a presión el cual tiene un dispositivo mecánico de eliminación constante de la torta. Hay gran variedad de diseños de filtros de hojas.

En los filtros rotatorios continuos la filtración se efectúa por vacío. Consiste principalmente en un tambor rotatorio sobre el que se coloca el medio filtrante; en un tercio de la rotación del tambor se lleva a cabo la filtración, en el tercio siguiente el lavado y en el último tercio la descarga; como el tambor está girando constantemente, la filtración, lavado y descarga, son continuos. La sección de filtración comunica a un tanque cerrado que recibe el filtrado y la sección de lavado comunica a otro tanque cerrado que recibe el lavado. El vacío de una bomba comunica a los dos tanques y de ahí al tambor a través de una válvula especial que permite comunicar constantemente las secciones de filtración y lavado del tambor en rotación con sus tanques respectivos.

#### O P E R A C I O N D E L F I L T R O

El método más simple de operar un filtro prensa o un filtro de hojas es aplicar toda la presión al iniciar la filtración y mantener la presión constante a través de la corrida. Si la presión inicial es alta, las primeras partículas recibidas en el medio filtrante pueden formar una torta muy comprimida de



br a permeabilidad, lo que produce una lenta y torcida --  
filtración el resto de la corrida. Si los sólidos en suspensión  
no son homogéneos y se forman de partículas cristalinas y parti-  
culas coloidales, la parte coloidal puede ser forzada en los es-  
pacios vacíos que dejan las partículas cristalinas, disminuyen-  
do mucho la velocidad de filtración.

Por otro lado, una caída de presión inicial baja, puede --  
causar que la primera porción de filtrado obtenido no sea com-  
pletamente clara debido a la estructura más abierta de la torta  
formada. Sin embargo, esto permite una velocidad de flujo de  
más rápida y la turbidez inicial del filtrado desaparece al for-  
marse una torta adecuada cuando la presión aumenta a un valor  
constante, en el cual se mantiene a través de toda la corrida.

Por lo anterior, el método común de operar un filtro pren-  
sa, es iniciar la filtración a gasto constante en la primera --  
etapa; tan pronto como las lonas se cubren de torta y el filtra-  
do es claro, la presión se aumenta al máximo y la filtración se  
continúa y termina a presión constante.

Si el material por filtrar está almacenado en tanques, se-  
necesita agitación para alimentar una suspensión uniforme al --  
filtro. Las bombas reciprocantes son indeseables porque las pul-  
saciones hacen que la torta formada no sea uniforme.

## S E L E C C I O N D E F I L T R O S

Para seleccionar un filtro es necesario considerar un ---  
gran número de factores cuya importancia relativa varía amp la-  
mente en cada problema de filtración. Los principales factores--

que definen la selección de un filtro son:

- Facilidad de filtración de la suspensión o características de formación de la torta.
- Volumen de producción.
- Condiciones necesarias del proceso.
- Resultados requeridos.
- Costo del equipo.

Con los factores mencionados, las características particulares de cada problema, se hace la selección del filtro adecuado.

El filtro prensa es el más barato por unidad de área de filtración y necesita menos espacio. El costo de mano de obra para operarlo es alto, sobre todo en tamaños grandes, por lo que no se escogen cuando grandes cantidades de sólidos deben eliminarse; si los sólidos son de valor y su volumen no justifica un filtro continuo, el costo de mano de obra por valor unitario de producto es bajo; posee un alto índice de recuperación de sólidos que pueden ser fácilmente manejados en forma de tortas. Es muy usado en filtración de productos valiosos.

El filtro de hojas tiene las ventajas de facilidad de manejo, lavado eficiente y costo de mano de obra menor que en los filtros prensa, pudiéndose descargar las tortas sin sacar las hojas del filtro.

El filtro rotatorio continuo tiene las ventajas adicionales de operación continua y automática para alimentación, filtración, lavado y descarga de la torta; es empleado cuando el volumen de sólidos es muy grande y cuando los costos de mano de

Las suspensiones se han dividido arbitrariamente en cinco categorías.

La categoría "A" se define como una suspensión que puede formar una torta gruesa (5cms. o más) en pocos segundos; los sólidos se asientan rápidamente, generalmente contienen más de 20% de sólidos.

La categoría "B" comprende suspensiones que depositan una torta desde 1cm. de espesor en 1 ó 2 min. hasta 5cms. en 30 seg., los sólidos se asientan rápidamente, pero pueden mantenerse en suspensión con buena agitación; la concentración de sólidos oscil. entre 10% y 20%.

La categoría "C" incluye suspensiones que forman tortas delgadas (de 1cm. a 3cms. de espesor en 5 min.) el asentamiento de sólidos es normal y su concentración varía desde el 1% al 10%.

La categoría "D" representa suspensiones con una concentración de sólidos menor del 5% con ligero asentamiento y que forman tortas de menos de 1cm. de espesor en pocos minutos.

La categoría "E" abarca suspensiones que contienen menos de 0.1% de sólidos que prácticamente no se asientan.

De acuerdo con lo mencionado en este punto, se ha preparado una tabla en la que se indica qué filtros pueden usarse para cada categoría de suspensión. Dicha tabla es de gran utilidad como guía en la selección de filtros, por lo que se incluye a continuación.



Equipo específico	Categoría de sus usos				
	A	B	C	D	E
Continuos de tambor a vacío					
De varios compartimientos		X	X		
De un compartimiento		X	X		
Dorroco	X	X			
De tolvas	X	X			
De alimentación superior	X	X			
Continuos horizontales a vacío					
De descarga por gusano	X	X			
De compartimientos inclinados	X	X			
De correa	X	X			
De discos a vacío		X	X		
De tambor a presión		X	X		
De discos a presión		X	X		
Con precubierto a presión			X	X	
Con precubierto a vacío			X	X	
Intermitente de hojas a vacío		X	X		
De depósito	X	X	X	X	X
Intermitentes de presión					
De placas y marcos		X	X	X	X
De hojas verticales		X	X	X	X
De elementos tubulares		X	X	X	X
De placas horizontales	X	X	X	X	X
De cartuchos					X
Centrífugas	X	X			
De mallas metálicas	X	X			

# TEORIA PARA FILTROS PRENSA

En el flujo de fluidos a través de medios porosos, la cantidad de fluido que pasa, depende de una serie de características de las partículas que forman la capa porosa.

La porosidad del medio, capa o torta, es definida matemáticamente como sigue:

$$\text{Porosidad} = X = \frac{\text{Volumen del espacio vacío}}{\text{Volumen total de la torta}}$$

La esfericidad de las partículas es definida como: área superficial de una esfera teniendo el mismo volumen como partícula  $\div$  área superficial de la partícula. La esfericidad y el diámetro de las partículas tienen gran influencia en la porosidad de la torta.

La rugosidad de las partículas tiene influencia sólo en la región de alta turbulencia.

La orientación de las partículas es importante en casos especiales.

El diámetro promedio de las partículas puede ser calculado con la fórmula:

$$D_p = \sqrt{\frac{\sum \frac{m_i}{D_i}}{\sum \frac{m_i}{D_i^3}}}$$

donde  $m_i$  = fracción masa de una partícula de diámetro  $D_i$

En FLUJO LAMINAR a través de camas porosas, se usan ecuaciones para pérdidas por fricción, que tienen la misma forma general de las empleadas en flujo de fluidos por el interior de tuberías.

$$\text{De la ecuación de Poiseuille: } \rho \bar{v} L v_c = -\Delta P_c = \frac{32 L v_c \mu}{g_c D_p^3}$$

modificada con un factor del Reynolds y un factor del Factor de Fricción correspondientes a las características de las partículas, se obtiene la ecuación:

$$-\Delta P_c = \frac{32Lv \mu F_f}{g_c D_p^2 F_{re}} \quad (1)$$

$$\therefore v = \frac{g_c D_p^2 F_{re}}{32 F_f} \left( \frac{-\Delta P_c}{L \mu} \right) \quad (2)$$

Por definición: permeabilidad =  $K = \frac{g_c D_p^2}{32} \cdot \frac{F_{re}}{F_f}$  (3)

$$\therefore v = \frac{-\Delta P_c}{L \mu} K \quad (4)$$

además,  $v = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt}$  (5)

$$\therefore v = K \left( \frac{-\Delta P_c}{L \mu} \right) = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} \quad (6)$$

Para obtener una expresión que relacione la capacidad de filtración, (ya sea expresada como volumen filtrado, o como espesor de la torta), con el tiempo de filtración, es necesario relacionar las variables  $L$  y  $V$ . Un balance de sólidos en la suspensión y en la torta, muestra:

Masa de sólidos en la torta = Masa de sólidos en la suspensión-filtrada.

$$(1-x)LA\rho_s = \frac{(V+xLA)\rho_x}{1-x} \quad (7)$$

$$\therefore V = \frac{\rho_s (1-x) (1-x) - \rho_x X}{\rho_x} A L \quad (8)$$

$$6 \quad L = \frac{V \rho_x}{A[\rho_s (1-x) (1-x) - \rho_x X]} \quad (9)$$

Sustituyendo la Ec. (9) en la (6), se tiene:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{K A^2 [\rho_s (1-x) (1-x) - \rho_x X] (-\Delta P_c)}{\mu V \rho_x} \quad (10)$$



De la ecuación ( ) ... a ... s al operador son  $(-\Delta Pc)$ ,  $V$  y  $t$ . Las variables restantes son agrupadas como sigue, en donde sólo  $X$  puede o no, ser variable para una suspensión dada:  $C_v = \frac{\mu \rho x}{2K [\rho_s(1-x)(1-X) - \rho x X]}$  (11)

Por lo que se obtiene una forma simplificada de la ecuación (10):

$$\bullet \frac{dV}{dt} = \frac{A^2 (-\Delta P_0)}{2 C_v V} \quad (\text{Ecuación General}) \quad (12)$$

TORTAS NO COMPRESIBLES

Si la porosidad de la torta ( $X$ ) permanece constante durante la filtración, (torta no compresible),  $C_v$  puede considerarse como una constante. Integrando la Ec. (12) para porosidad y caída de presión constantes y despejando  $t$ , se tiene:

$$t = \frac{C_v V^2}{A^2 (-\Delta Pc)} \quad (13)$$

Si se desea  $t$  en función de  $L$ , se sustituye la Ec. (8) (en su forma diferencial y a porosidad constante), en la Ec. (6), -

$$\frac{dL}{dt} = \frac{K \rho x (-\Delta Pc)}{\mu L [\rho_s(1-x)(1-X) - \rho x X]} \quad (14)$$

Definiendo la constante  $C_L$ ,

$$C_L = \frac{\mu [\rho_s(1-x)(1-X) - \rho x X]}{2K \rho x} \quad (15)$$

La Ec. (14) se reduce a:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{-\Delta Pc}{2 C_L L} \quad (16)$$

Integrando a porosidad y caída de presión constantes y despejando  $t$ , se tiene:

$$t = \frac{C_L L^2}{-\Delta Pc} \quad (17)$$

Teóricamente,  $C_v$  y  $C_L$  pueden calcularse de las propiedades

de la suspensión y de la torta, pero frecuentemente se desconocen K y X de la torta; muchas veces también Dp es desconocido.

En esos casos se toman datos de operación para una suspensión dada y de ahí se calculan Cv y Ca. Existe un tratamiento matemático, basado en el concepto de que la velocidad de filtración es directamente proporcional a una fuerza guiadora o de empuje, e inversamente proporcional a una resistencia, esto es:

$$\frac{dV}{dt} \propto \frac{\text{Fuerza de Empuje}}{\text{Resistencia}}$$

En un balance de sólidos de la torta, se tiene:

$$(1-X) L A \rho_s = V \rho_r \quad (18)$$

Despejando L en la ecuación (18) y sustituyéndola en la Ec. (6),

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 K \rho_s (1-X)}{V r \rho \mu} (-\Delta P_c) \quad (19)$$

$$\text{Conductancia específica de la torta} = K \rho_s (1-X), \quad (20)$$

generalmente es constante durante la filtración cuando X=Cte..

Se define resistencia específica como:

$$\alpha = \frac{1}{K \rho_s (1-X)} \quad (21)$$

Sustituyendo  $\alpha$  en la Ec. (19) se reduce a:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 (-\Delta P_c)}{V \alpha r \rho \mu} \quad (22)$$

$$\therefore \frac{dV}{dt} = \frac{-\Delta P_c}{\frac{V \alpha r \rho \mu}{A^2}} = \frac{\text{Fuerza de Empuje}}{\text{Resistencia}}$$

Igualando las ecuaciones (22) y (12) se obtiene:

$$C_v = \frac{\alpha r \rho \mu}{2} \quad (23)$$

En todas las ecuaciones anteriores, la caída de presión  $(-\Delta P_c)$ , está considerada únicamente a través de la torta, su-

poniendo que al paso del fluido se opone sólo la resistencia de la torta.

En la práctica, generalmente se desconoce  $(-\Delta P_c)$ , siendo la caída de presión total,  $(-\Delta P)$ , la conocida.  $(-\Delta P_{total}$  es la caída de presión medida a la entrada y salida del filtro).

Para usar  $(-\Delta P)$  es necesario incluir las resistencias debidas al medio filtrante y a las tuberías, válvulas, etc.; estas resistencias pueden expresarse en la forma de "espesor de torta equivalente"  $L_e$ , ó "volumen de filtrado equivalente"  $V_e$  para formar una torta de espesor equivalente  $L_e$ .

Las resistencias adicionales pueden expresarse como:

$$\frac{V_e \alpha r \rho \mu}{A^2} \quad \text{ó} \quad \frac{2C_v V_e}{A^2}$$

La ecuación de flujo (22) puede ser escrita ahora como sigue:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{A^2 (-\Delta P)}{\alpha r \rho \mu (V + V_e)} = \frac{A^2 (-\Delta P)}{2C_v (V + V_e)} \quad (24)$$

Para filtración a  $(-\Delta P) = \text{Cte.}$ , la Ec. (24) puede ser integrada (con  $V_e = \text{Cte.}$ ) para dar:

$$t = \frac{C_v (V^2 + 2V V_e)}{A^2 (-\Delta P)} \quad (25)$$

De igual manera puede demostrarse que a porosidad  $\text{Cte.}$ :

$$\frac{dL}{dt} = \frac{K \rho r (-\Delta P)}{A_s (1-X) \mu (L + L_e)} = \frac{-\Delta P}{2C_L (L + L_e)} \quad (26)$$

A  $(-\Delta P) = \text{Cte.}$  la Ec. (26) puede integrarse a:

$$t = \frac{C_L (L^2 + 2L L_e)}{-\Delta P} \quad (27)$$

Las ecuaciones (24) y (26) están limitadas a flujo laminar a través de camas porosas. Las ecuaciones (23) y (25) están limitadas a tortas de porosidad y permeabilidad constante, forma-

das en una filtración a presión y  $V_e$  constantes. Puesto que estas condiciones generalmente no existen, los valores de  $C_v$  ó  $C_L$  deben determinarse experimentalmente. Esto se hace llevando a cabo filtraciones a presión constante con la suspensión problema.

Rearreglando la ecuación (24) se tiene:

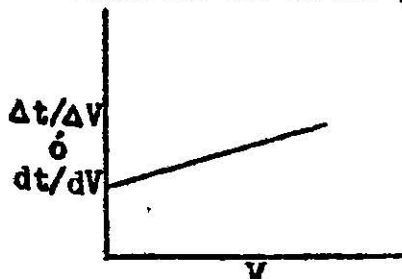
$$\frac{dt}{dV} = \frac{2 C_v}{A^2 (-\Delta P)} V + \frac{2 C_v}{A^2 (-\Delta P)} V_e \quad (28)$$

Tomando datos de volumen y tiempo de corridas a presión constante y haciendo una gráfica de  $\frac{dt}{dV}$  ó  $\frac{\Delta t}{\Delta V}$  contra  $V$  (Gráfica No. 1), se obtienen líneas que serán rectas si  $C_v$  es constante durante la corrida, lo cual es verdadero para tortas no compresibles. La pendiente de la línea es  $\frac{2 C_v}{A^2 (-\Delta P)}$ , y la intersección es  $\frac{2 C_v}{A^2 (-\Delta P)} V_e$ . Los valores correspondientes de  $C_v$  y  $V_e$  pueden calcularse resolviendo cualquiera de las ecuaciones (24), (25), (26) y (27) conociendo  $A$  y  $\Delta P$ .

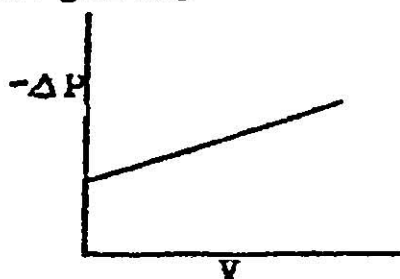
Si se toman datos de una corrida a gasto constante, la Ec. (28) puede usarse en la forma:

$$-\Delta P = \frac{2 C_v}{A^2} \frac{dV}{dt} V + \frac{2 C_v}{A^2} \frac{dV}{dt} V_e \quad (29)$$

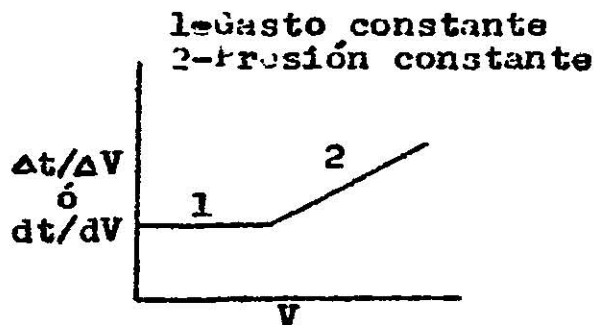
Haciendo una gráfica de  $(-\Delta P)$  contra  $V$  (Gráfica No. 2), se obtiene una línea cuya pendiente es  $\frac{2 C_v}{A^2} \frac{dV}{dt}$  y la intersección es  $\frac{2 C_v}{A^2} \frac{dV}{dt} V_e$ . De nuevo pueden calcularse  $C_v$  y  $V_e$  si se conocen el área y el gasto.



Gráfica No. 1



Gráfica No. 2



Gráfica No. 3



## TORTAS COMPRESIBLES

Si al hacer una gráfica en papel logarítmico de  $C_v$  y  $C_v V_e$  como una función de la caída de presión, resulta una recta, se trata de una torta compresible; esto significa que las constantes de filtración en tortas compresibles son funciones exponenciales de la caída de presión para una suspensión dada, igualmente la resistencia específica de la torta  $\alpha$ , es función exponencial de  $-\Delta P$  para una torta dada. Estas funciones se expresan matemáticamente como sigue:

$$\begin{aligned} C_v &= C'_v (-\Delta P)^a & \alpha &= \alpha' (-\Delta P)^a \\ C_v V_e &= c (-\Delta P)^b & \alpha V_e &= \beta (-\Delta P)^b \end{aligned}$$

donde  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $a$  y  $b$  son constantes para una torta dada,  $C_v$  y  $c$  son constantes para una suspensión dada. Sustituyendo las relaciones exponenciales apropiadas en las ecuaciones (24) y (28) e integrando entre los límites  $t=0$  y  $t=t$ ,  $V=0$  y  $V=V$  para  $-\Delta P$  constante, se tiene:

$$t = \frac{C'_v}{A^2} \frac{V^2}{(-\Delta P)^{1-a}} + \frac{2cV}{A^2 (-\Delta P)^{1-b}} \quad (28a)$$

$$t = \frac{r\rho\mu V}{2A^2 (-\Delta P)} [\alpha' (-\Delta P)^a V + 2\beta (-\Delta P)^b] \quad (24b)$$

Estas ecuaciones se pueden arreglar como sigue:

$$\frac{(-\Delta P)t}{V/A} = C'_v \frac{V}{A} (-\Delta P)^a + \frac{2c}{A} (-\Delta P)^b \quad (28b)$$

$$\frac{(-\Delta P)t}{V/A} = \frac{r\rho\mu\alpha'}{2} \frac{V}{A} (-\Delta P)^a + \frac{r\rho\mu\beta}{A} (-\Delta P)^b \quad (24b)$$

Las ecuaciones (28b) y (24b) son de líneas rectas cuando se hace una gráfica de  $\frac{(-\Delta P)t}{V/A}$  contra  $V/A$  con valores de corridas a presión constante. Las pendientes respectivas son  $C'_v(-\Delta P)^a$

$$y \frac{r \mu}{2} (-\Delta P)^a \quad \text{y las intersecciones correspondientes son } \frac{2c(-\Delta P)^2}{A} \quad \text{y} \quad \frac{r \mu g}{A} (-\Delta P)^b$$

Los valores de los exponentes se obtienen gráficamente. -- desgraciadamente estas relaciones exponenciales son únicamente aproximadas en la mayoría de los casos de tortas compresibles, pero pueden ser útiles para estimar el efecto de cambios en condiciones de operación. Los valores del exponente a varían de un máximo de 0.9 para los lodos compresibles de hidróxidos, a cerca de 0.01 a 0.15 para carbonato de calcio y diatomáceas.

Cuando se usan estas ecuaciones, se supone que el valor de b es el mismo de a y se tiene:

$$t = \frac{C'v V(V+2V_0)}{A^2 (-\Delta P)^{1-a}} \quad (25a)$$

Cuando  $a = 0$ , la ecuación (25a) es idéntica a la ecuación (25) para tortas no compresibles; cuando el valor de a es muy pequeño su influencia en la ecuación (25a) es despreciable y la torta se considera no compresible.

## N O M E N C L A T U R A

X	Porosidad de la torta
$D_p$	Diámetro promedio de las partículas que forman la torta
$m_i$	Fracción masa de una partícula
$D_i$	Diámetro de una partícula
$\rho$	Densidad del fluido
$\bar{I}_{wc}$	Pérdidas por fricción en la torta
L	Espesor de la torta
v	Velocidad del fluido
$\mu$	Viscosidad de la suspensión
$g_c$	Factor de conversión de lbs-fuerza a poundals
$\Delta P_c$	Caída de presión del fluido a través de L
$F_f$	Factor del factor de fricción
$F_{Re}$	Factor del Reynolds
K	Permeabilidad de la torta
A	Area de filtración
V	Volumen de filtrado
t	Tiempo de filtración
x	Fracción masa de sólidos en la suspensión
$C_v$	Constante de filtración para una suspensión dada
$C_t$	Constante de filtración para una torta dada
r	Relación masa de la torta seca a filtrado
$\alpha$	Resistencia específica de la torta
$L_e$	Espesor de torta equivalente
$V_e$	Volumen de filtrado equivalente

$\Delta P$	Caída de presión total en el filtro
$\alpha$	Constantes de filtración para una torta dada (en tortas compresibles)
$\beta$	
$a$	
$b$	
$C_v$	Constantes de filtración para una suspensión dada (en tortas compresibles)
$c$	
$m$	Pendiente de la línea de filtración (en la gráfica)
$Y$	Término independiente de la línea de filtración (en la gráfica)



## O B J E T I V O

Este trabajo tiene el fin de desarrollar el método experimental para la determinación de las constantes de filtración expuestas en la teoría de filtración.

Una segunda finalidad, que necesariamente hubo de obtenerse para realizar la primera, es dejar el filtro prensa del Laboratorio de Ingeniería en condiciones de operación, para que los alumnos de la Facultad efectúen prácticas en el mismo.

## EQUIPO EXPERIMENTAL

En la experimentación se usó el filtro prensa del Laboratorio de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Químicas de la U. N. L.

El aparato está constituido por un tanque de alimentación de 200 Lts. (5) (ver dibujo para referencias entre paréntesis), al que pueden conectarse opcionalmente 2 tanques de 50 Lts. c/u situados al mismo nivel que el primero sobre una estructura tubular de una altura de 1.55 mts. lo que permite a la suspensión fluir por gravedad a través de la tubería hasta el filtro, pudiendo así emplear la capacidad total de la bomba (15) para impartir presión a la suspensión por filtrar.

El tanque de alimentación (5) está provisto de un tubo de nivel graduado (9) en el que se lee el volumen de suspensión en lts. y en el fondo del tanque se encuentra un tubo en cruz perforado (23) por el que se hace burbujear aire a presión para agitar la suspensión: el flujo del aire se controla por medio de la válvula de paso (10). La alimentación de la suspensión al filtro se controla regulando el flujo a través de la válvula de globo (1).

La suspensión pasa luego por la válvula de retención ("check") (17) para ser impulsada por una bomba de engranes (15) y penetrar al filtro por la perforación de entrada situada en una esquina superior de la placa matriz (20); inmediatamente antes de la entrada se encuentra un manómetro (7) en el que se lee la presión de entrada en kilos /cm<sup>2</sup>.

Cada marco (18) y cada placa (19) tiene una perforación en una esquina superior y otra en la esquina inferior del mismo lado; al ensamblar en forma alternada marcos y placas, las perforaciones de la esquina superior forman un ducto de entrada y -- las perforaciones de la esquina inferior forman un ducto de salida. Los marcos tienen otras perforaciones más pequeñas en la esquina superior que comunican el ducto de entrada con el espacio hueco de los marcos. Entre cada marco y cada placa se colocan lonas (ó cualquier otro medio filtrante) que cubran totalmente la cara en contacto con los marcos y que tengan las dos -- perforaciones necesarias para la formación de los ductos; se -- usa el medio filtrante adecuado para permitir el paso del fluido e impedir el paso de los sólidos en suspensión.

El fluido que pasa a través del medio filtrante puede escurrir hacia la parte inferior de las placas debido a que lo permite el labrado en forma de pequeñas pirámides que tienen las -- caras en contacto con el medio filtrante. Las placas tienen pequeñas perforaciones en la esquina inferior que comunican las -- caras labradas con el ducto de salida.

El filtrado acumulado en el ducto de salida pasa por la -- perforación de salida situada en una esquina inferior de la placa matriz (20). Luego pasa por las válvulas de globo de salida -- (2) y de descarga (3) para caer dentro de un tanque de descarga de 200 Lts. (6), éste tiene en el fondo una válvula de globo (4) que comunica al drenaje. En la salida del filtro, antes de la -- válvula (2) está un manómetro (8) que marca la presión de salida en Kls./cm<sup>2</sup>.

El filtro propiamente dicho está montado en un soporte de fierro vaciado. Sobre éste descansa una charola de lámina (3), dentro de la que están las placas matrices (20) y (22). Por los lados y a media altura de las placas matrices están atornillados los largueros de cercha, sobre los que corren las placas y marcos que se prensan entre las placas (20) y (21) por medio del tornillo con maneral (13). En la parte media inferior del soporte hay una placa de fierro sobre la que está un motor de 2 H P (11) de 220V que acciona la bomba de engranes (15) y que se conecta por medio del interruptor de cuchillas que se encuentra en la caja (12). Una tubería adicional conecta la salida de la bomba con la entrada de la misma; en esta tubería hay una válvula de seguridad (16), que permite el reflujó de la suspensión cuando la presión dentro del filtro sobrepasa a la que tiene graduada la válvula.

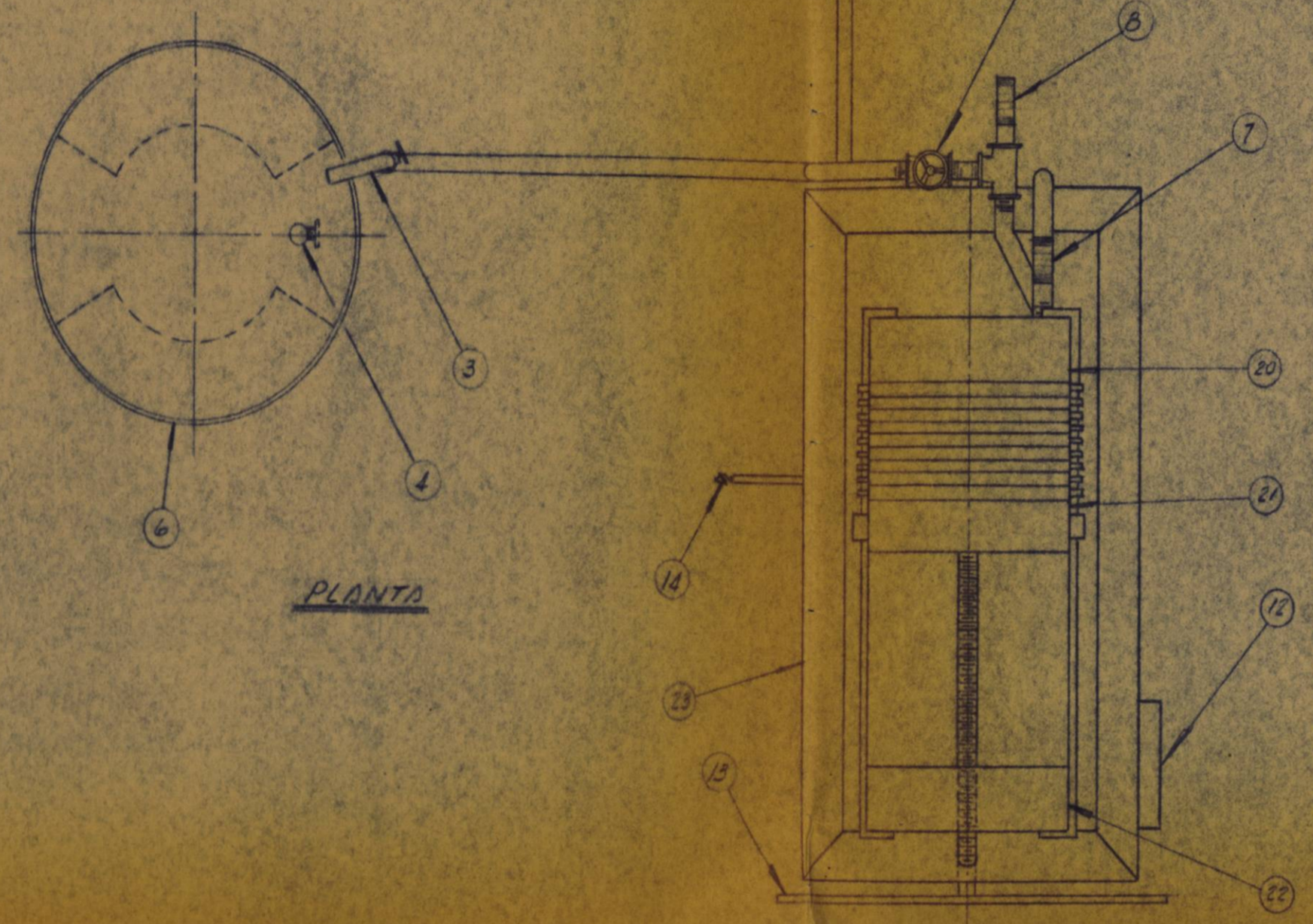
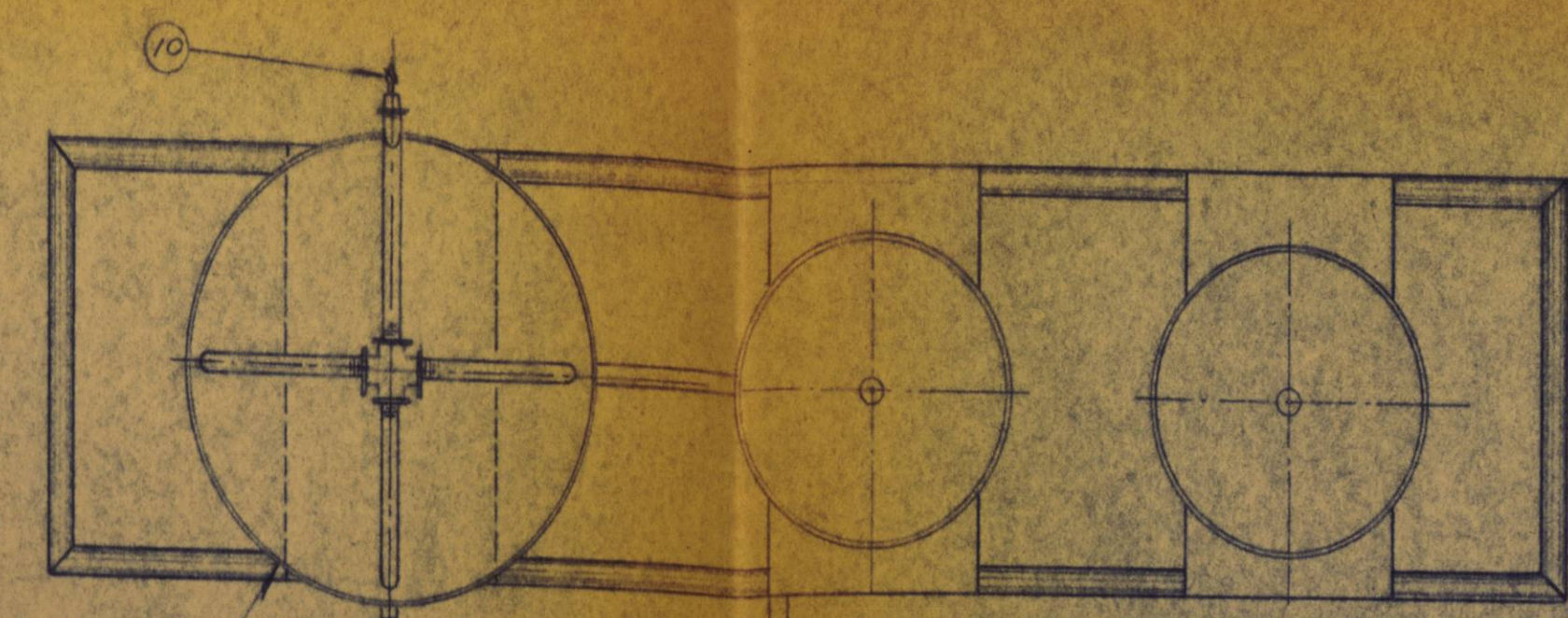
En la entrada de la bomba hay una reducción con una válvula de paso (14), a la que puede conectarse aire a presión para expulsar el fluido remanente en las tuberías y en las tortas.



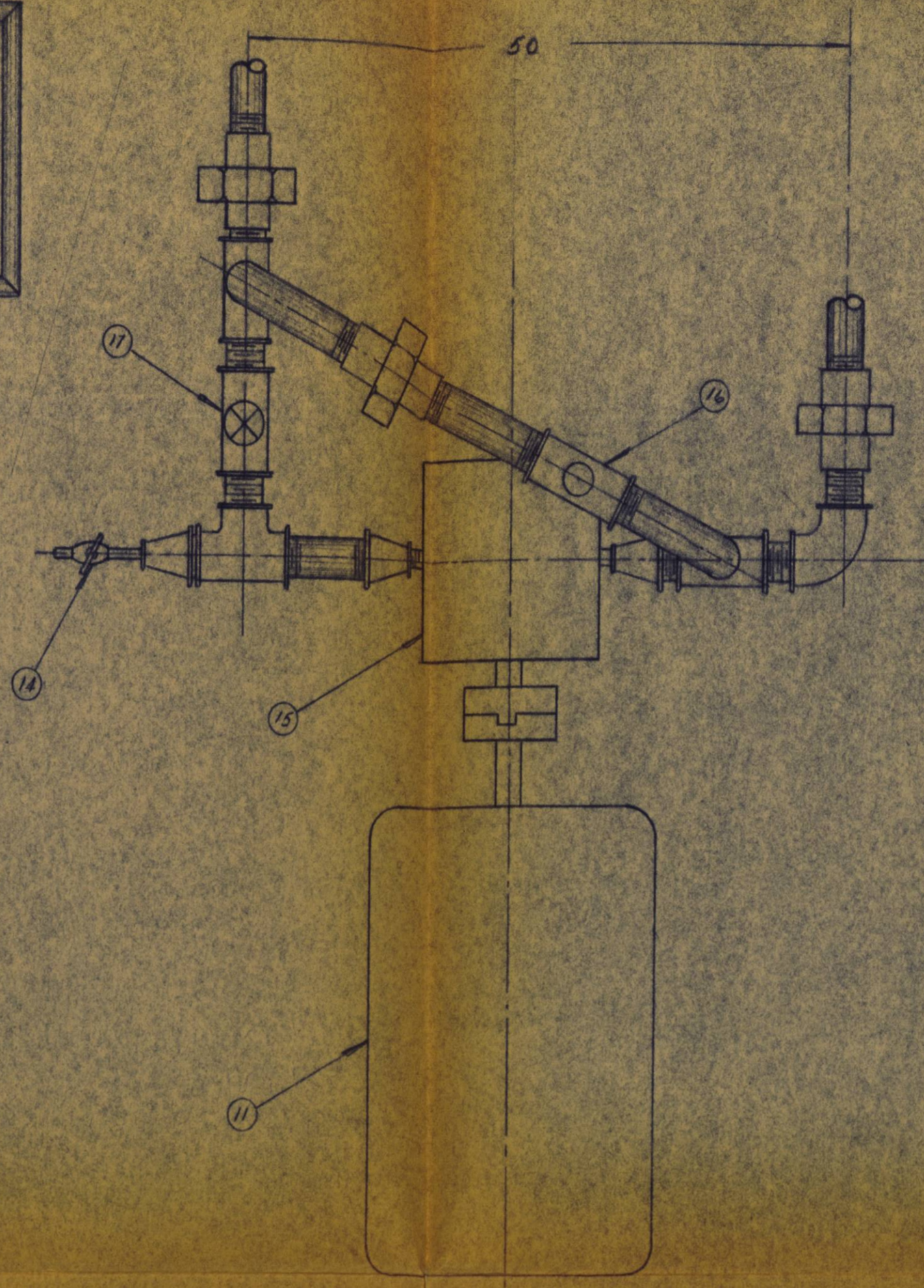
LISTA DE PARTES

Nº	NOMBRE
1	VALVULA DE REGULACION (GLOBO 1/2")
2	VALVULA DE SALIDA (GLOBO 1/2")
3	VALVULA DE EFICAZIA (GLOBO 1/2")
4	VALVULA DE REVERSA (GLOBO 1/2")
5	TANQUE DE AUMENTACION (200 L)
6	TANQUE DE RESERVA (200 L)
7	MANDAMETRO DE SALTADA
8	MANDAMETRO DE SALIDA
9	TUBO DE NIVEL
10	VALVULA DE PASO DE PISA PARA SIFON (AUTOMATICO)
11	MOTOR 2 HP 220 VOLTS
12	INTERRUPTOR DE CUCHILLAS
13	TORNILLO CON MANDRIL
14	VALVULA DE PASO DE PISA INYECCION DE AIRE
15	BOMBA DE ENGRANES
16	VALVULA DE SEGURIDAD
17	VALVULA DE RETENCION (ORCO)
18	MARCO
19	PLACA
20	PLACA METAL FINA
21	PLACA METAL MEDIA
22	PLACA METAL GROSERA
23	CHABOLA

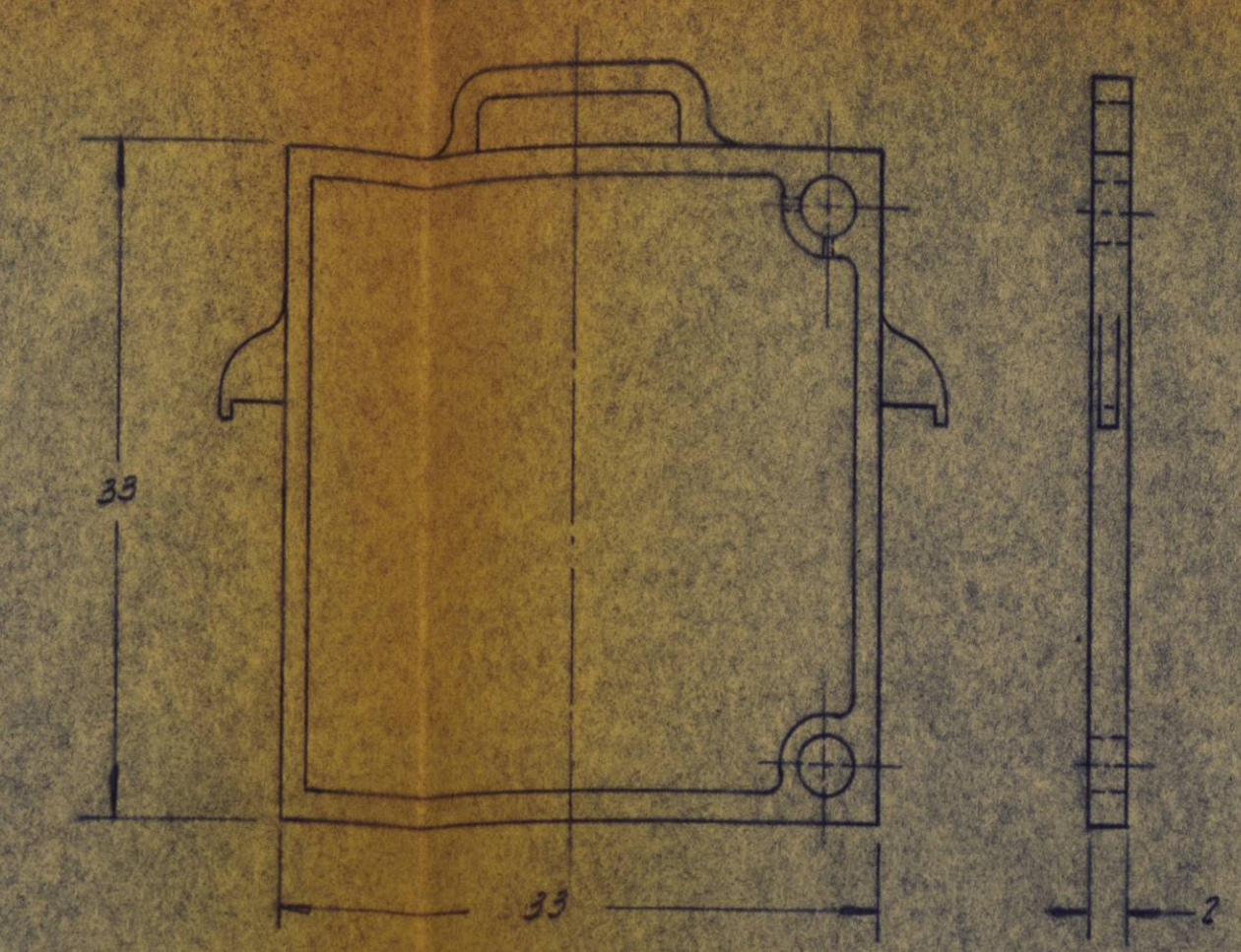
NOTA:  
LA TUBERIA ES DE 1/2" NEGRO STD



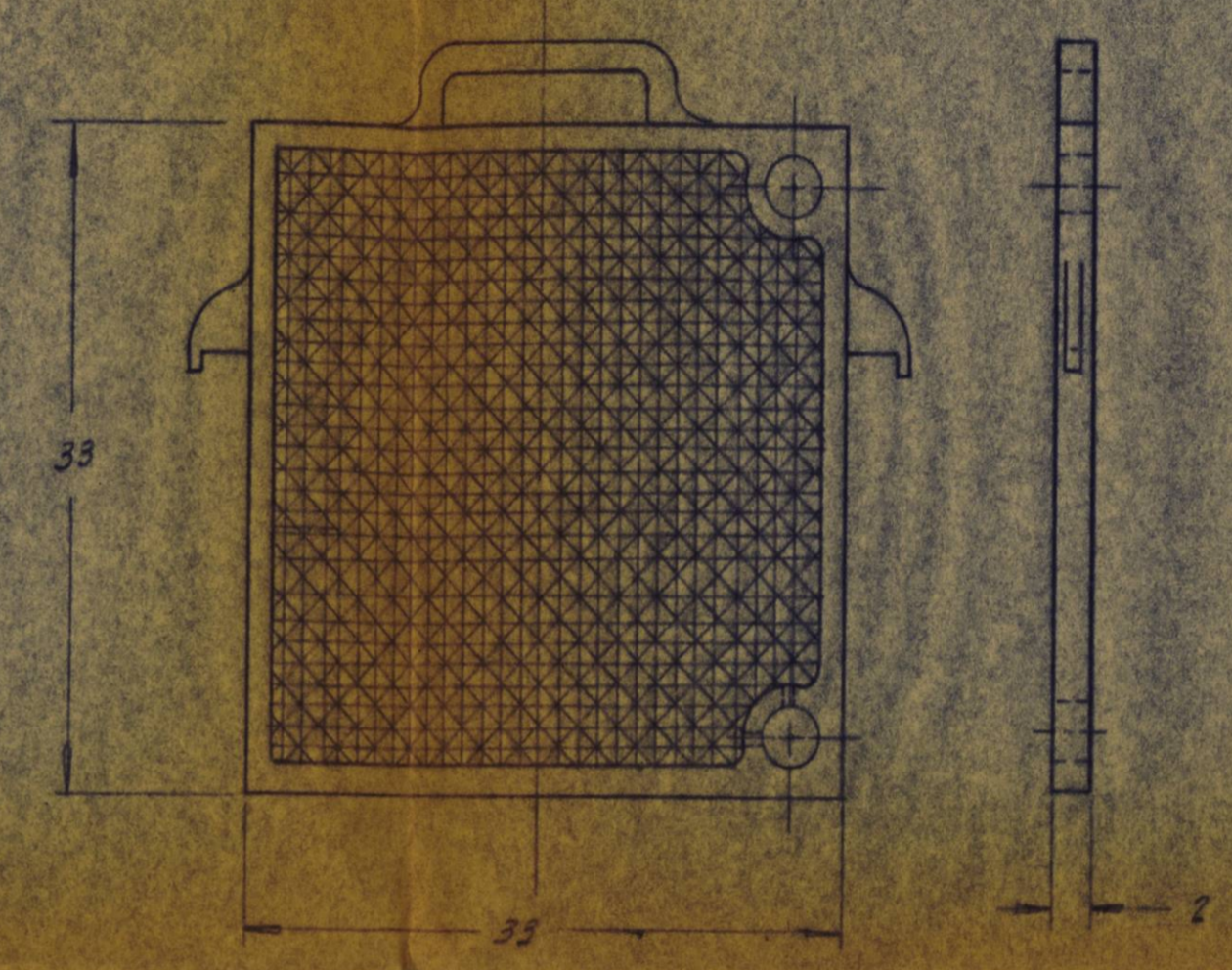
PLANTA



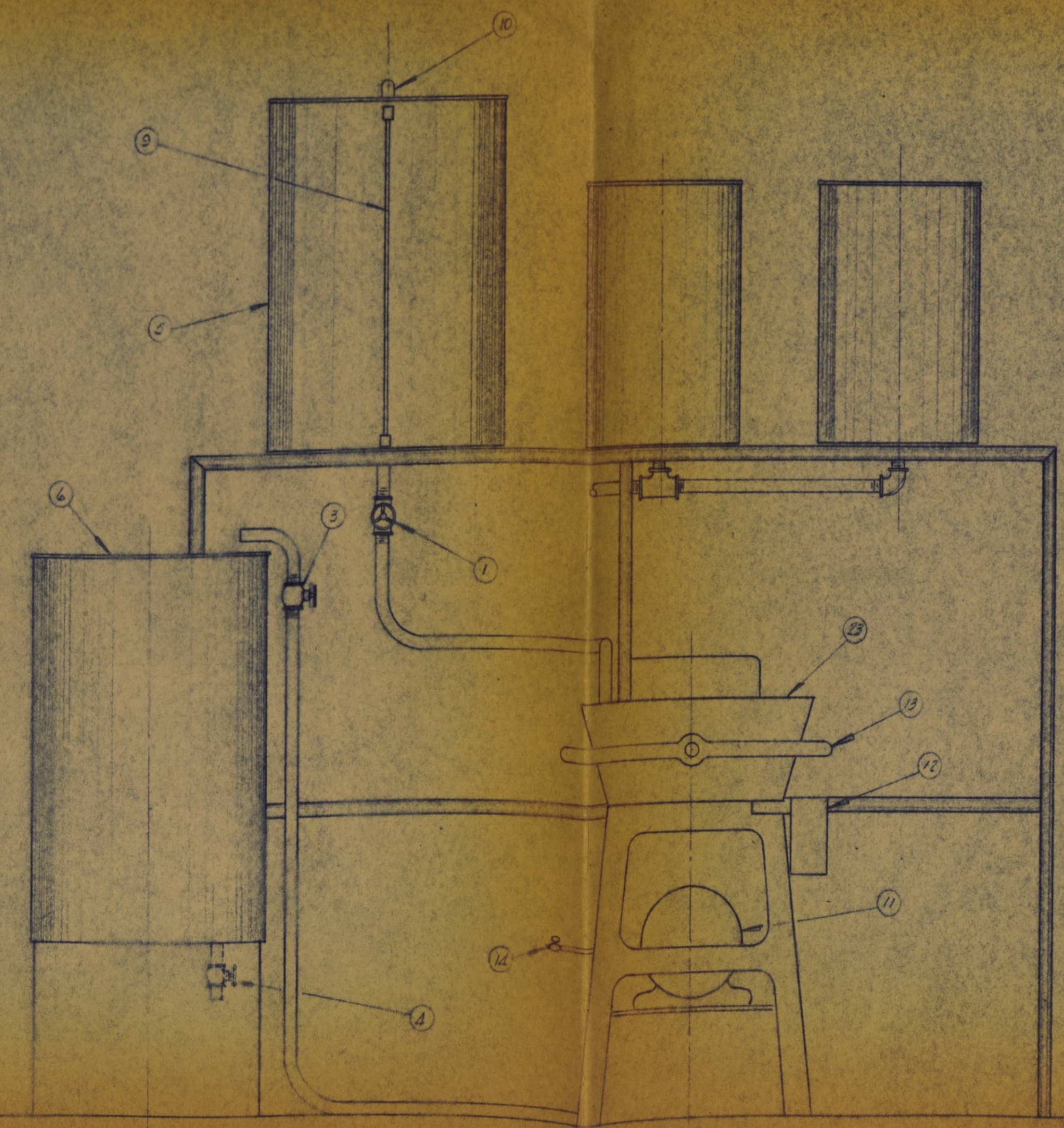
DETALLE BOMBA  
ESCALA 1:4 CMS



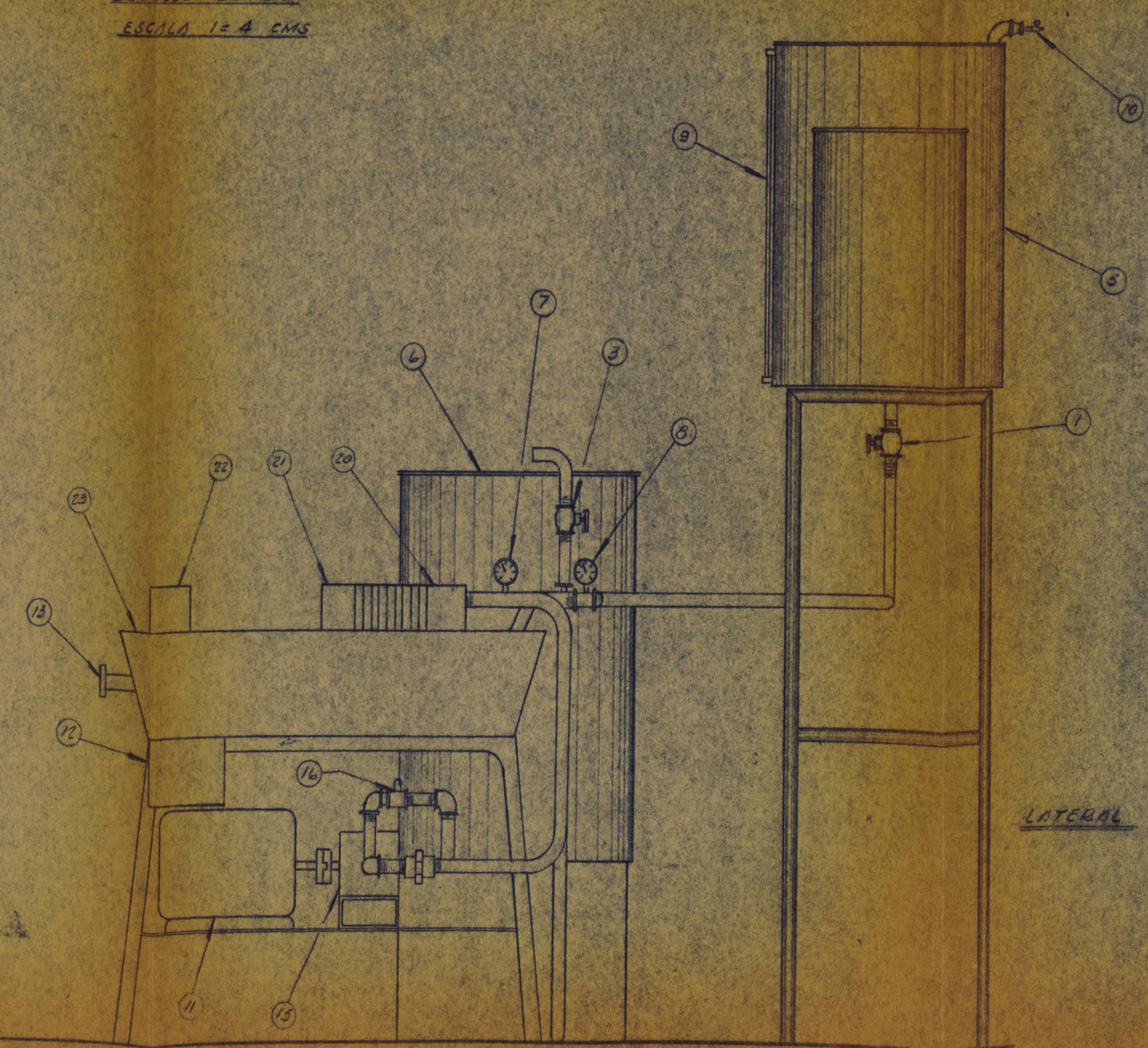
DETALLE MARCO  
ESCALA 1:4 CMS



DETALLE PLACA  
ESCALA 1:4 CMS



ELEVACION



LATERAL

UNIVERSIDAD DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
FILTRO PRENSA  
DETERMINACION DE CONSTANTES DE FILTRACION, TENS QUE PARA SU EXAMEN PROFESIONAL PRESENTA EL TRABAJO ARTEMIO TAMEZ VALDES  
OCTUBRE DE 1938 ESCALA 1:10 CMS



## P R O C E D I M I E N T O E X P E R I M E N T A L

Para operar el filtro, debe comprobarse que está en las condiciones de operación Sigs.:

-Debe estar armado y cerrado, es decir, los marcos y las placas deben estar ensambladas como se explicó anteriormente; en la experimentación de esta tesis se usaron 5 marcos, un juego de 10 lonas y 4 placas, prensado todo el conjunto con el tornillo (13) entre las placas matrices (20 y (21). Ver dibujos para referencias entre paréntesis.

- Las válvulas (2) y (3) deben estar abiertas.

-Las válvulas (1), (10), (14) y (4) deben estar cerradas.

La mezcla líquido-sólido por filtrar se vierte en el tanque de alimentación (5) y se abre la válvula (10) que permite el paso del aire a presión que agita la suspensión por burbujeo; cuando se ha homogenizado satisfactoriamente, se abre la válvula de alimentación (1), permitiendo, que la suspensión fluya por la tubería y llene los compartimientos del filtro, conectando luego el interruptor (12) que acciona el motor-bomba (11-15) poniendo en operación la filtración.

Se toman lecturas de volumen filtrado en el tubo de nivel (9) en Lts. y de presión en los manómetros de entrada (7) y de salida (8) en  $\text{Kil.}/\text{cm}^2$  a intervalos de tiempo (minutos).

Cuando se ha filtrado toda la suspensión, se desconecta el interruptor (12) y se cierran las válvulas de alimentación (1) y de aire (10), conectando luego el aire al filtro a través de la válvula (14) para forzar la salida del líquido retenido en la tubería, marcos y tortas; esto imparte solidez a la torta, -

lo que facilita la descarga y limpieza del filtro, así como el posterior manejo de los sólidos.

Se cierra la válvula (14), se abre el filtro aflojando el tornillo de presión (13), y se sacan los marcos (18), a los que permanecen unidas lonas y tortas; se coloca un juego de lonas y marcos limpios en el filtro, intercalándolos con las placas como se mencionó antes. Se cierra el filtro apretando el tornillo de presión (13), quedando nuevamente en condiciones de operación.

Posteriormente se quitan las lonas de los marcos y se sacan las tortas. Se lavan marcos y lonas para utilizarlos en nuevas filtraciones.

Al colocar las lonas para armar el filtro, debe dedicarse especial atención a la colocación, y a que deben coincidir los agujeros tanto superiores como inferiores, de marcos, placas y lonas; estas deben quedar sin una arruga, para permitir el cierre hermético del filtro.

Este procedimiento se siguió en cada una de las filtraciones que se efectuaron en esta tesis y que se citan en el Sig. - Cap.

## D A T O S Y R E S U L T A D O S E X P E R I M E N T A L E S

En todas las pruebas que se citan en este capítulo, se siguió el procedimiento explicado en el capítulo anterior. Igualmente se usó la misma área de filtración en todas las pruebas, aunque el filtro tiene marcos, placas y capacidad suficiente -- para operar con el doble del área usada en este trabajo.

Para obtener resultados más exactos, se trabajó sólo con suspensiones que forman tortas consideradas no compresibles. De haber trabajado con tortas compresibles, a la inexactitud práctica se hubiera añadido la inexactitud teórica de las funciones exponenciales usadas en los cálculos para este tipo de tortas.

Los datos de cada prueba se presentan en forma de tablas -- que incluyen columnas para tiempo en minutos ( $t$ ), caída de presión en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  ( $\Delta P$ ), volumen de suspensión filtrada en Lts. -- ( $V$ ), volumen filtrado en cada minuto en Lts. ( $\Delta V$ ) y la relación  $\Delta t/\Delta V$ , que se multiplicó por 100 para facilitar su manejo. Luego se exponen brevemente las características de cada suspensión y los valores de las constantes obtenidas; finalmente se presentan las gráficas correspondientes a cada corrida.



V

t min.	$\Delta P$ Kls/cm <sup>2</sup>	V Lts.	$\Delta V$ Lts.	$\Delta t/\Delta V \times 100$
CORRIDA No. 1				
1	0.8	27.5	27.5	3.64
2	1.3	55.	27.5	3.64
3	2.0	82.5	27.5	3.64
4	2.7	110	27.5	3.64
5	2.7	135.	25	4.0
6	2.7	152	17	5.88
7	2.7	165	13	7.69
8	2.7	176	11	9.09
9	2.7	186	10	10.0
11	2.7	200	14	14.3
CORRIDA No. 2				
1	1.5	21	21	4.76
2	1.5	39	18	5.55
3	1.5	53	14	7.14
4	1.5	64	11	9.09
5	1.5	74	10	10.0
6	1.5	83	9	11.11
7	1.5	92	9	11.11
8	1.5	100	8	12.5
9	2.0	110	10	10.0
10	2.0	118	8	12.5
11	2.0	126	7	14.29
* 12	2.5	135	9	11.11

t min	$\Delta P$ Kls/cm <sup>2</sup>	V L s.	$\Delta V$ Lts	$\Delta V$
13	2.5	143	8	12 5
14	2.5	150	7	14
15	2 5	156	6	16 65
16	2.5	162	6	16 6
17	2.5	167	5	20 0
18	2.5	172	5	2 0
19	2.5	176	4	25 0
20	3.0	183	7	14 29
25	3.0	200	17	27 6

CORRIDA No. 3

1	0.2	25	25	+0.0
2	0.4	57	32	3
3	0.7	87	30	3. 3
4	0.7	118	31	
5	1.0	146	28	3 5
6	1.5	170	24	1. 1
7	1.5	200	30	3.

CORRIDA No. 4

1	0.2	30	30	3
2	0.3	60	30	3
3	0.4	90	30	3.
4	0.5	120	30	3 3
5	0.6	150	30	3

t min.	$\Delta P$ kls/cm <sup>2</sup>	V l+s	$\Delta V$ ts	
6	1.0	176	26	3.85
7	1.3	200	24	4.16

CORRIDA No. 5

1	0.5	27	27	3.7
2	1.0	54	27	3.7
3	1.4	81	27	3.7
4	1.8	108	27	3.7
5	2.0	133	25	4.0
6	2.0	155	22	4.54
7	2.0	172	17	5.88
8	2.0	137	15	6.66
9	2.0	200	13	7.69

CORRIDA No. 6

1	0.5	22	22	4.54
2	0.9	44	22	4.54
3	1.3	66	22	4.54
4	1.7	83	22	4.54
5	2.1	110	22	4.54
6	2.5	132	22	4.54
7	2.5	152	20	5.7
8	2.5	170	18	5.55
10	2.5	200	30	6.06

t min.	$\Delta P$ Kls/cm. <sup>2</sup>	V Its.	$\Delta V$ Its	$\Delta t/$	$\lambda$ OC
CORRIDA No. 7					
1	0.1	25	25		4.0
2	0.2	50	25		4.0
3	0.2	74	24		4.16
4	0.2	97	23		4.35
5	0.2	119	22		4.54
6	0.25	141	22		4.54
7	0.25	161	20		5.0
8	0.25	179	18		5.55
9	0.25	196	17		5.88
10	0.25	200	4		25.0
CORRIDA No. 8					
1	1.3	16	16		6.25
2	1.9	27	11		9.09
3	2.1	35	8		12.5
4	2.2	42	7		14.29
5	2.3	49	7		14.29
6	2.3	55	6		16.68
7	2.4	61	6		16.68
8	2.4	67	6		16.68
9	2.4	72	5		20.0
10	2.4	77	5		20.0
11	2.4	82	5		20.0
12	2.4	87	5		20.0

# min.	$\Delta P$ K.s/cm.	V Lbs.	V Lts.	$\Delta t/\Delta v \times 100$
13	2.4	92	5	20.0
14	2.4	96	4	25.0
15	2.4	100	4	25.0
16	2.6	103	3	33.33
17	2.6	105	2	50.0
18	2.6	106	1	100.0
19	2.6	108	2	50.0
20	2.6	110	2	50.0
21	2.6	112	2	50.0
22	2.6	114	2	50.0
23	2.6	115	1	100.0
24	2.6	116	1	100.0
25	2.6	118	2	50.0
26	2.6	120	2	50.0
27	2.6	122	2	50.0
28	2.6	124	2	50.0
29	2.6	125	1	100.0
30	2.6	126	1	100.0
31	2.6	128	2	50.0
32	2.6	130	2	50.0
33	2.6	131	1	100.0
34	2.6	133	2	50.0
35	2.6	134	1	100.0
36	2.6	135	1	100.0
37	2.6	137	2	50.0
38	2.6	139	2	50.0

nr	AP $\Delta$ 1s/cr <sup>2</sup>	V TL	17 Lts	
39	2.6	140	1	100.0
40	2.6	141	1	100.0
41	2.6	143	2	50.0
42	2.6	144	1	100.0
43	2.6	145	1	100.0
44	2.6	146	1	100.0
45	2.6	148	2	50.0

#### CORRIDA No. 1

Suspensión preparada con tierra de diatomáceas al 2% (en peso) en agua hasta un volumen de 200 Lts. El espesor de torta obtenido fué de 2.8 cms. empleando 15 min. en descarga y armado, después se expulsó el agua remanente haciendo fluir aire a presión dentro del filtro durante 15 min.

#### CORRIDA No. 2

Suspensión preparada con las tortas obtenidas de la corrida No. 1, es decir, tierra de diatomáceas al 2% (en peso) en agua hasta un volumen de 200 Lts. El espesor de torta obtenido fué de 2.8 cms. empleando 15 min. en descarga y armado, después se expulsó el agua remanente haciendo fluir aire a presión dentro del filtro durante 15 min.

#### CORRIDA No. 3

Suspensión preparada con ceniza de al (CaCO<sub>3</sub>) al 1.5% (en peso) en agua hasta un volumen de 200 Lts. El espesor de la torta



a no se pudo determinar debido a la falta de consistencia de la misma; se emplearon 15 min. en descarga y armado, después de expulsar el agua remanente haciendo fluir aire a presión dentro del filtro durante 15 min.

#### CORRIDA No. 4

Suspensión preparada con ceniza de cal ( $\text{CaCO}_3$ ) al 2% (en peso) en agua hasta un volumen de 200 Lts. Igualmente que en la corrida anterior y debido a las mismas causas, no fué posible determinar el espesor de la torta; se emplearon 15 min. en descarga y armado, después de hacer fluir aire a presión dentro del filtro durante 15 min.

#### CORRIDA No. 5

Suspensión preparada con almidón al 3% (en peso) en agua hasta un volumen de 200 Lts. Se obtuvo una torta de 2.1 cms. de espesor, empleando 15 min. en descarga y armado después de hacer fluir aire a presión dentro del filtro durante 30 min.

#### CORRIDA No. 6

Suspensión preparada con almidón al 4% (en peso) en agua hasta un volumen de 200 Lts. Se obtuvo una torta de 2.8 cms. de espesor, empleando 15 min. en descarga y armado después de hacer fluir aire a presión dentro del filtro durante 30 min.

#### CORRIDA No. 7

Suspensión preparada con arena sílica al 7% (en peso) en

agua hasta un volumen de 200 Lts. Debido a la falta de consistencia de la torta, no fué posible determinar su espesor; se emplearon 15 min. en descarga y armado, después de hacer fluir -- aire a presión dentro del filtro dentro de 15 min.

#### CORRIDA No. 8

Suspensión preparada con blanco españa ( $\text{CaCO}_3$ ) en estado de fina división (fineza mayor de 200 mallas) al 2% (en peso) en agua hasta un volumen de 200 Lts. Parece ser que la torta formada por sólidos de tal fineza y concentración adquirieron -- cierto grado de impermeabilidad, ya que esta corrida hubo de -- suspenderse al haber filtrado únicamente 148 Lts. de suspensión, debido a que la velocidad de filtración era practicamente nula, dada la capacidad del filtro y su comportamiento con otras suspensiones. Como se puede apreciar en la gráfica correspondiente a esta corrida, no presenta ninguna curva definida de filtración y por lo tanto, no es posible calcular las constantes.



3

2

1

$\uparrow$   
-- $\Delta P$

0

V-P

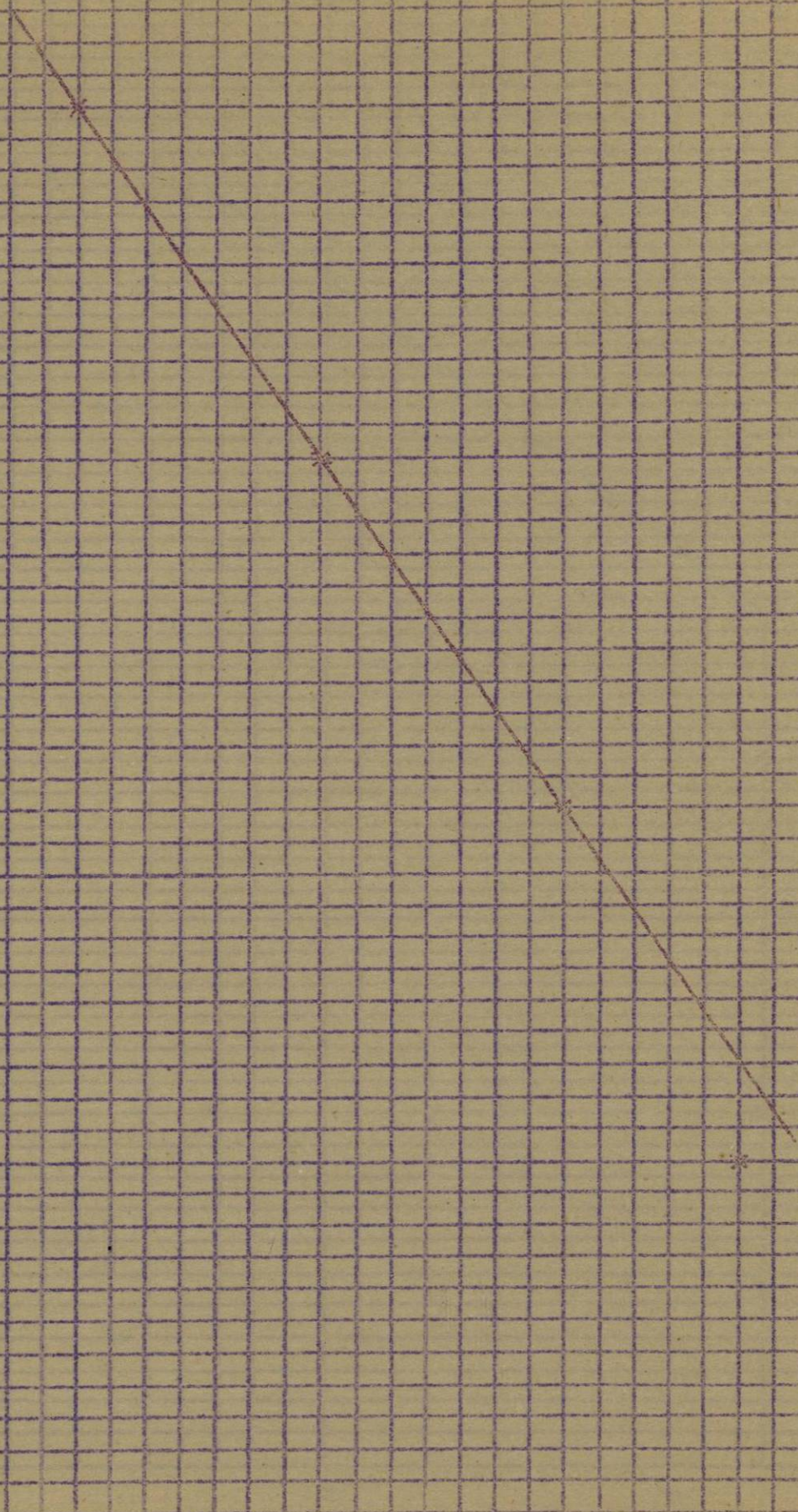
25

50

CORRIDA 10, 1-2

75

100





15

10

5

$\frac{\Delta k}{\Delta V} \times 100$

0

50

100

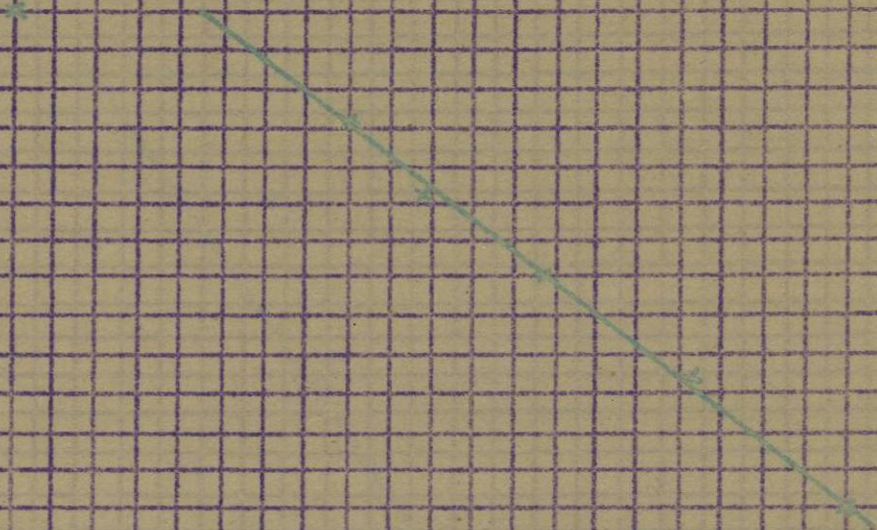
150

200

250

V →

CORE 10A No. 1-6





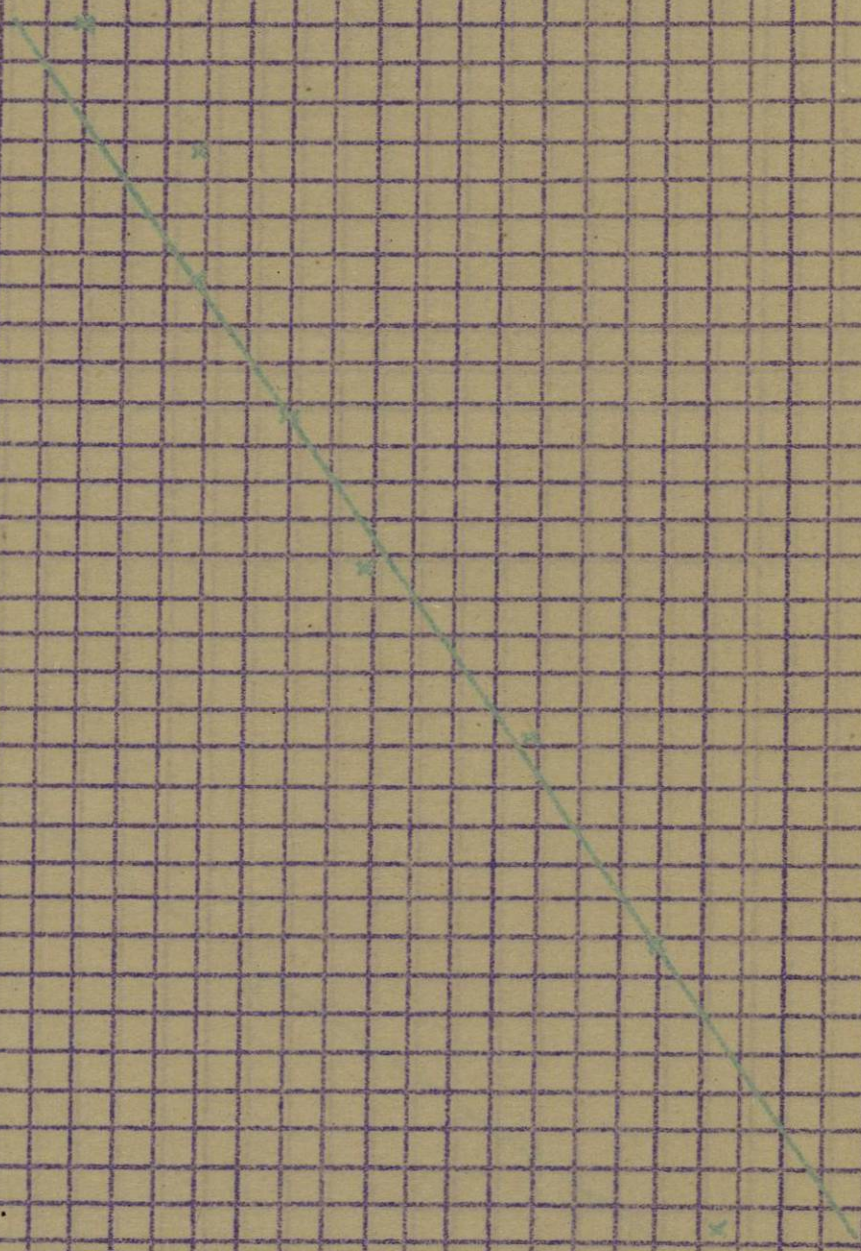
15

10

5

0

$\Delta V / 100V$



100

75

50

25

V-5

0

CORRIMA 3 2-6

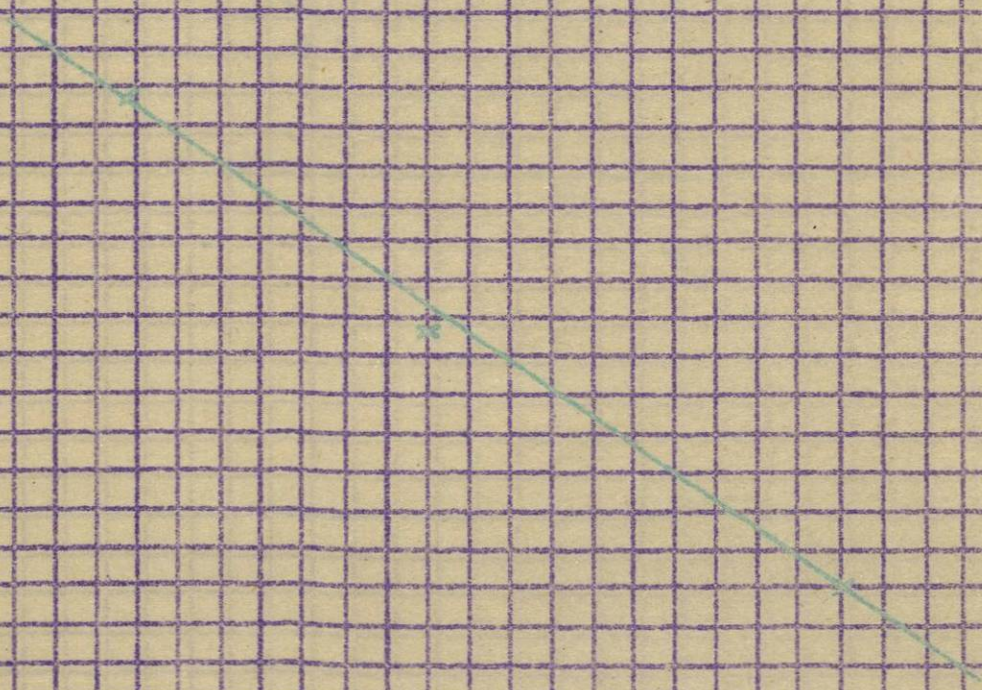


15

12.5

10

↑  
AV 100  
ΔV



V →

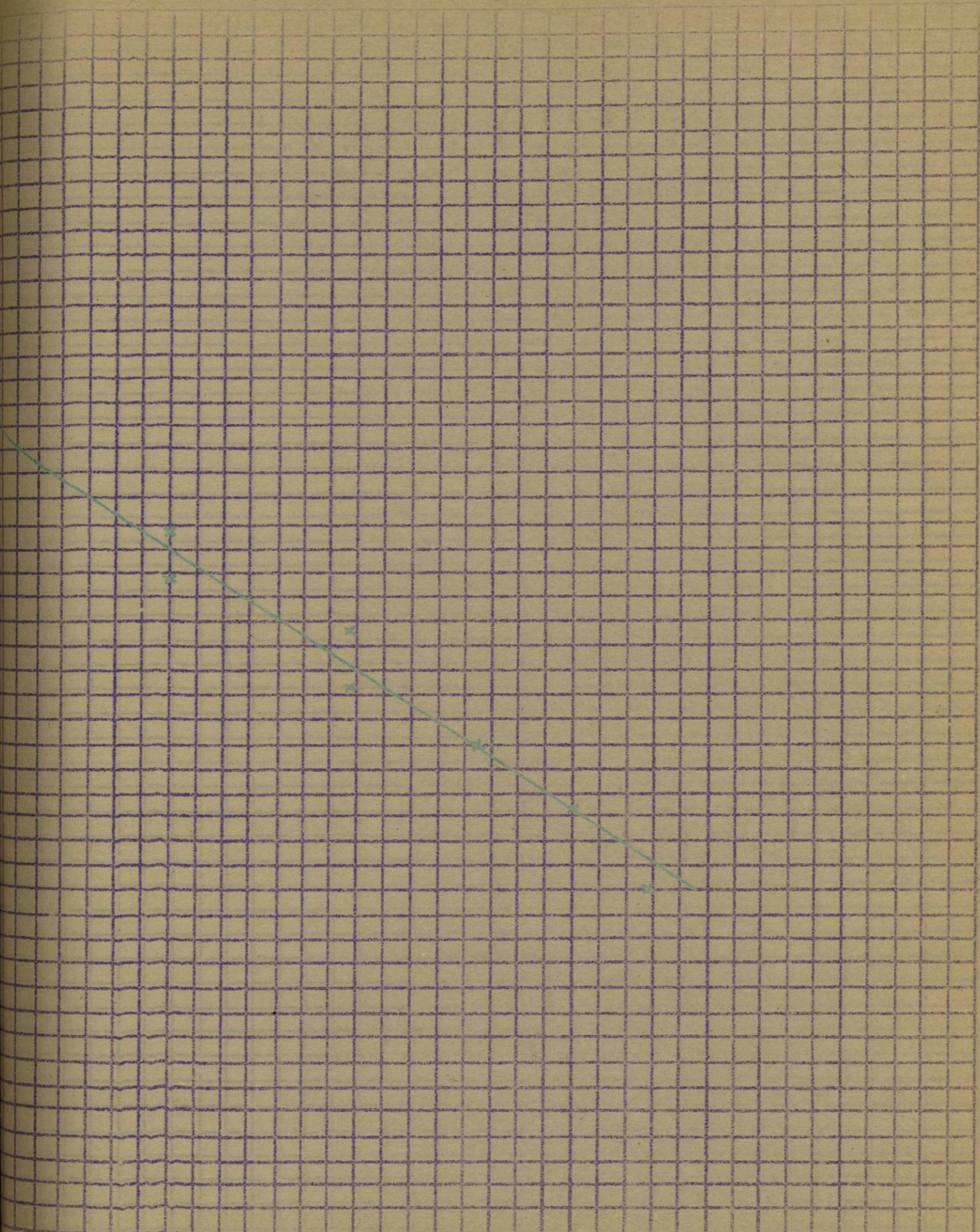
112.5

125

137.5

150





175

CORRIDA No. 2-C

150

125

V →

20

15

10

$\frac{\Delta V}{\Delta V}$



200

150

100

50

V →

CORRIDA No. 3

$\frac{\Delta A}{\Delta V} \cdot 100$

3

3.5

4

x

x

x

x

x

x

x



1.5

1

0.5

$\uparrow$   
- $\Delta P$

0

V-P

50

100

CORRIDA No. 4

150

200

\*

\*

\*

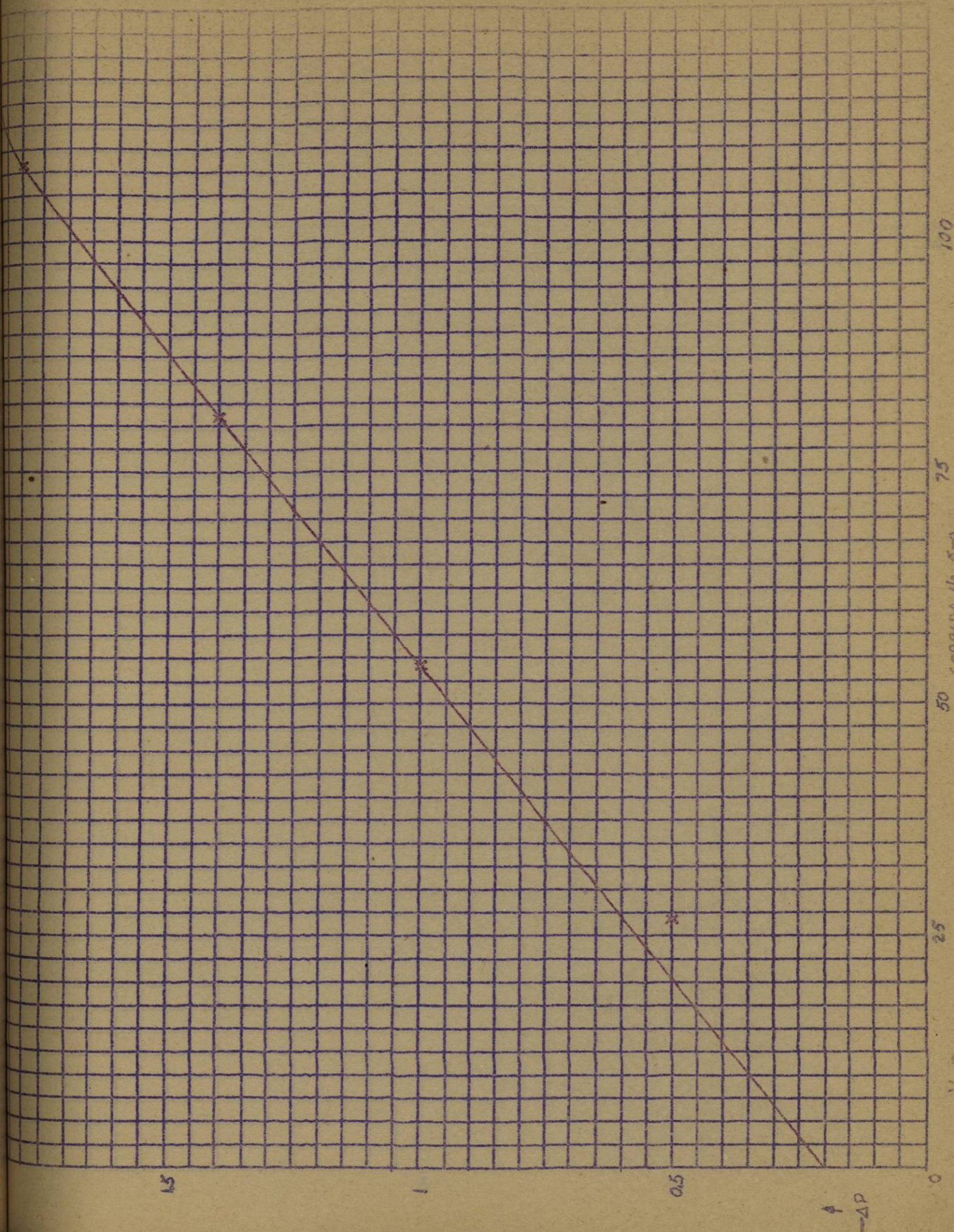
\*

\*

\*

\*





100  
75  
50  
CORRIDA No. 5-a  
25  
V →

1.5  
1  
0.5  
0  
↑  
-ΔP



15

10

5

$\frac{\Delta V}{\Delta I} \times 100$

V →

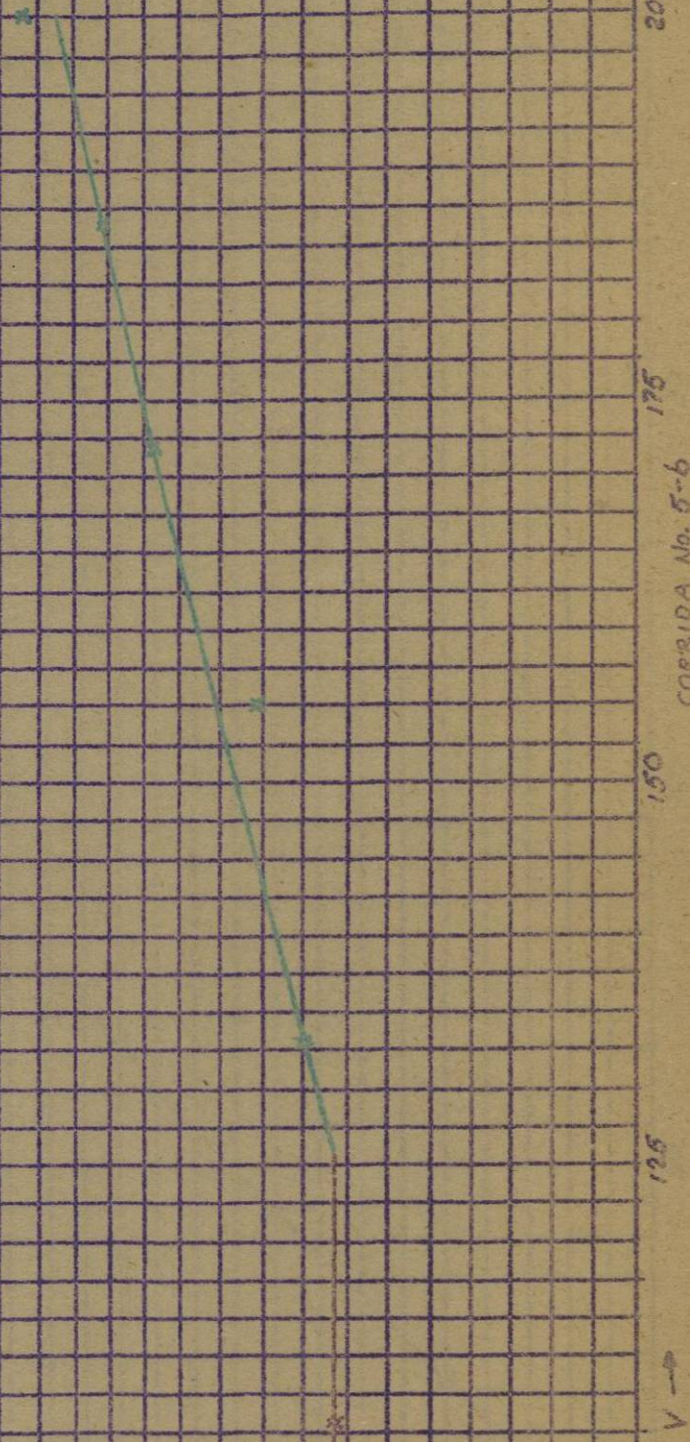
125

150

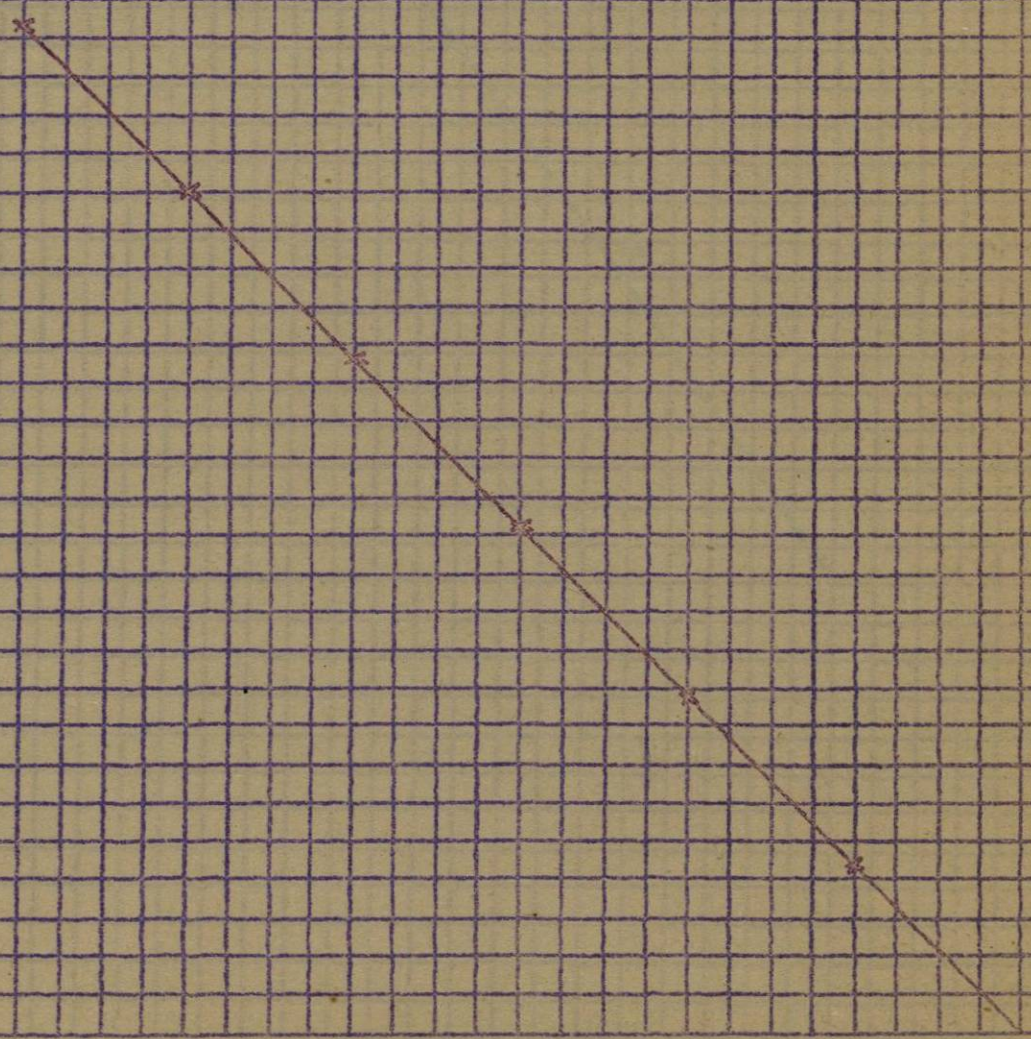
175

200

CORRIDA No. 5-6









7

6

5

100  
↑  
R/V

200

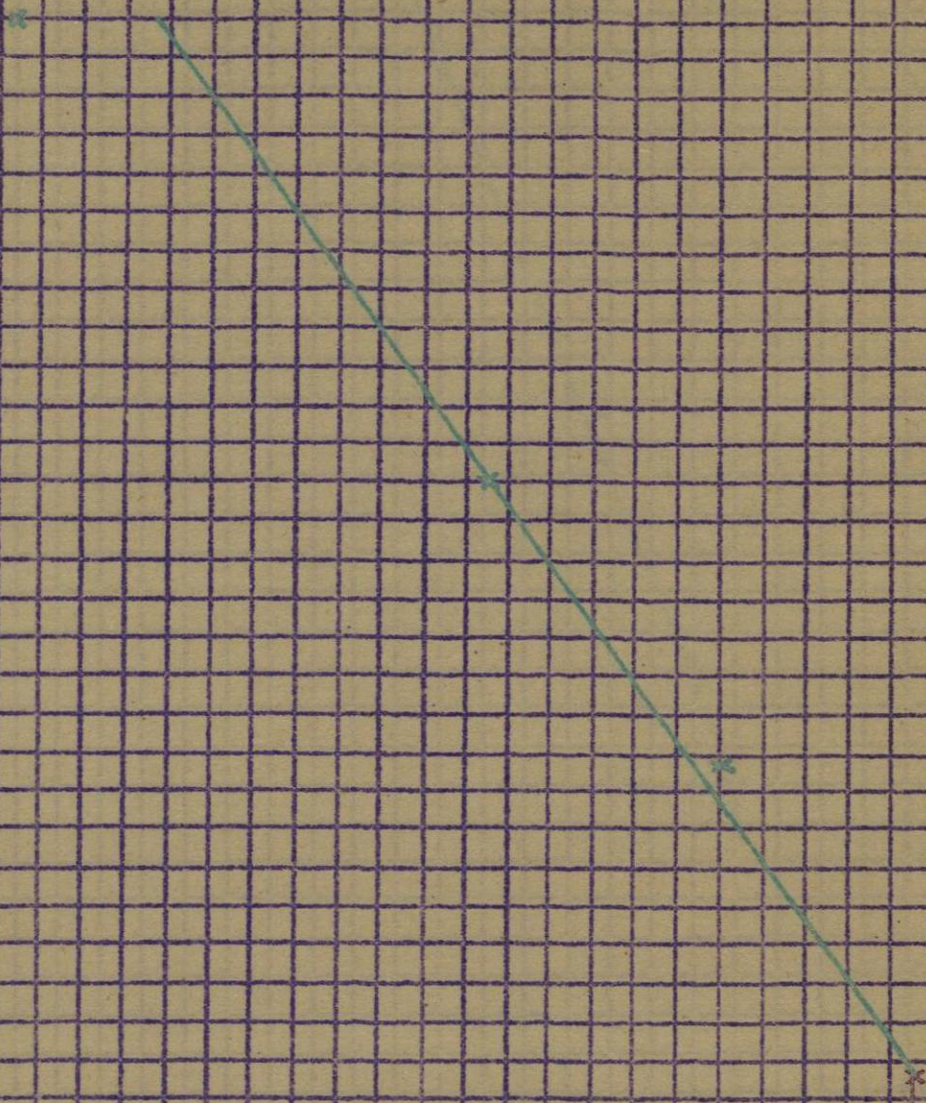
175

150

125

V →

CORROSION No. 6-b





5

4.5

4

$\frac{\Delta L}{V} \times 100$

V →

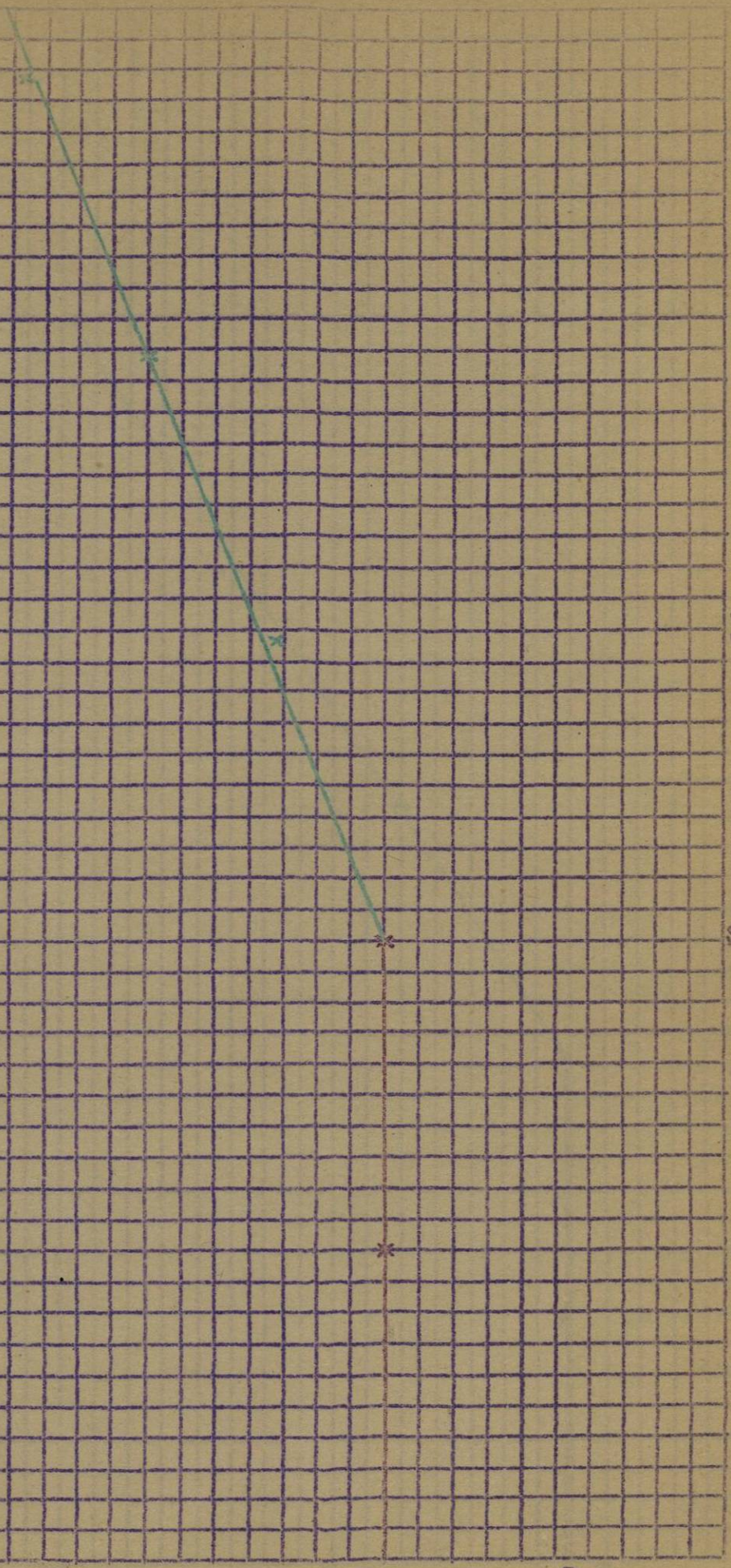
25

50

75

100

CORRIDA No. 2-0





7

6

5

$\frac{\Delta V}{100}$

V →

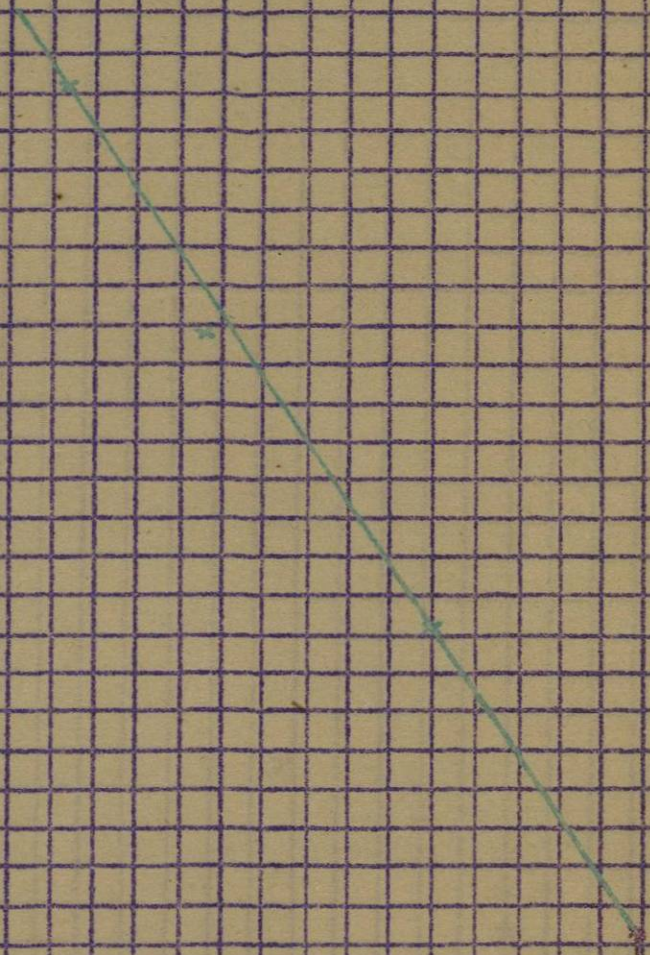
125

150

175

200

CORRIDA No. 2 - b





75

50

25

$\frac{\Delta V}{\Delta V}$

0

V →

50

100

150

200

CORRIDA No. 8

\*

\*

\*\*

\*  
\*  
\*  
\*  
\*  
\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*

\*



## CALCULO DE LAS CONSTANTES

A presión constante,

$$\frac{dt}{dV} = -\frac{2Cv}{A^2(-\Delta P)}V + \frac{2Cv}{A^2(-\Delta P)}Ve \quad (28)$$

$$m = \frac{2Cv}{A^2(-\Delta P)} = \text{pendiente de la línea de filtración}$$

$$Y = \frac{2Cv}{A^2(-\Delta P)}Ve = mVe = \text{intersección de la línea}$$

$$\therefore Cv = \frac{mA^2(-\Delta P)}{2} \quad Ve = \frac{Y}{m}$$

Si se toma como ejemplo la corrida No. 2 en su primer período a presión constante, se tiene:

$$m = \frac{12 \times 10^{-2}}{90} \quad Y = 3.3 \times 10^{-2} \quad A^2 = 0.604 \text{ mts.}^4$$

$$Cv = \frac{12 \times 10^{-2} \times 0.604 \times 1.5}{90 \times 2} = 6.04 \times 10^{-4}$$

$$Ve = \frac{3.3 \times 10^{-2}}{12 \times 10^{-2}} \times 90 = 24.75$$

Para comprobar si los valores obtenidos son verdaderos, se calculan algunos tiempos con la ecuación (25)

$$t = \frac{Cv(V^2 + 2VVe)}{A^2(-\Delta P)} = \frac{mA^2(-\Delta P)(V^2 + 2V\frac{Y}{m})}{2A^2(-\Delta P)}$$

$$= \frac{m(V^2 + 2V\frac{Y}{m})}{2} = m \left( \frac{V^2}{2} + V\frac{Y}{m} \right)$$

t calculado min. t real min.

$$t_1 = \frac{12 \times 10^{-2}}{90} \left( \frac{18^2}{2} + 18 \cdot \frac{3.3 \times 90}{12} \right) = 0.810 \quad 1$$

$$t_2 = \frac{12 \times 10^{-2}}{90} \left( \frac{32^2}{2} + 32 \cdot \frac{3.3 \times 90}{12} \right) = 1.741 \quad 2$$

$$t_3 = \frac{12 \times 10^{-2}}{90} \left( \frac{42^2}{2} + 42 \cdot \frac{3.3 \times 90}{12} \right) = 2.652 \quad 3$$

$$t_4 = \frac{12 \times 10^{-2}}{90} \left( \frac{53^2}{2} + 53 \cdot \frac{3.3 \times 90}{12} \right) = 3.622 \quad 4$$

$$t_5 = \frac{12 \times 10^{-2}}{90} \left( \frac{22^2}{2} + 62 \quad \frac{3.3 \times 90}{12} \right) = 4.616 \quad 5$$

$$t_6 = \frac{12 \times 10^{-2}}{90} \left( \frac{21^2}{2} + 71 \quad \frac{3.3 \times 90}{12} \right) = 5.702 \quad 6$$

$$t_7 = \frac{12 \times 10^{-2}}{90} \left( \frac{29^2}{2} + 79 \quad \frac{3.3 \times 90}{12} \right) = 6.774 \quad 7$$

A gasto constante,

$$-\Delta P = \frac{2Cv}{A^2} \frac{dV}{dt} V + \frac{2Cv}{A^2} \frac{dV}{dt} V_e \quad (29)$$

$$m = \frac{2Cv}{A^2} \frac{dV}{dt} = \text{pendiente de la línea de filtración}$$

$$Y = \frac{2Cv}{A^2} \frac{dV}{dt} V_e = mV_e = \text{intersección de la línea}$$

$$\therefore Cv = \frac{mA^2}{2} \frac{dt}{dV} \quad V_e = \frac{Y}{m}$$

Si se toma como ejemplo la corrida No. 4, se tiene:

$$m = \frac{1}{300} \quad Y = 0.1 \quad A^2 = 0.604 \text{ mts}^4$$

$$Cv = \frac{1 \times 0.604}{300 \times 2} \frac{1}{30} = 3.35 \times 10^{-5}$$

$$V_e = \frac{0.1}{\frac{1}{300}} = 30$$

Para comprobar si los valores obtenidos son verdaderos, se calculan algunas caídas de presión con la ecuación (29).

$$-\Delta P = mV + m \frac{Y}{m} = mV + Y$$

$-\Delta P$  calculada Kls/cm<sup>2</sup>

$-\Delta P$  real Kls/cm<sup>2</sup>

$$-\Delta P_1 = \frac{30}{300} + 0.1 = 0.2$$

0.2

$$-\Delta P_2 = \frac{60}{300} + 0.1 = 0.3$$

0.3

$$-\Delta P_3 = \frac{90}{300} + 0.1 = 0.4$$

0.4



$$\Delta P_4 = \frac{120}{300} + 0.1 = 0.5$$

0.5

$$\Delta P_5 = \frac{150}{300} + 0.1 = 0.6$$

0.6

De la misma manera se calcularon las constantes correspondientes a cada período de las demás corridas, obteniéndose se los siguientes valores:

CORRIDA No.	PERIODO DE $\Delta V$ Cte.	PERIODO a- $\Delta P$ Cte.	Cv	Ve
1-a	27.5 lts/min.		$2.82 \times 10^{-4}$	9.34
1-b		2.7 Kls/cm <sup>2</sup>	$9.78 \times 10^{-4}$	30.40
2-a		1.5 Kls/cm <sup>2</sup>	$6.04 \times 10^{-4}$	24.75
2-b		2.0 Kls/cm <sup>2</sup>	$1.69 \times 10^{-3}$	35 "
2-c		2.5 Kls/cm <sup>2</sup>	$2.1 \times 10^{-3}$	39.63
4	30 lts/min.		$3.35 \times 10^{-4}$	30.00
5-a	27 lts/min.		$1.68 \times 10^{-4}$	7.33
5-b		2.0 Kls/cm <sup>2</sup>	$3.02 \times 10^{-4}$	74.00
6-a	22 lts/min.		$2.49 \times 10^{-4}$	5.5
6-b		2.5 Kls/cm <sup>2</sup>	$2.01 \times 10^{-4}$	170.00
7-a		0.2 Kls/cm <sup>2</sup>	$4.52 \times 10^{-5}$	533.33
7-b		0.25 Kls/cm <sup>2</sup>	$1.89 \times 10^{-5}$	182.00



## DISCUSION Y CONCLUSIONES

En las tablas y gráficas de filtración de diversos materiales (Cap. anterior), se observa que en la generalidad de los casos existe un período a gasto constante en el que la presión aumenta hasta el punto deseado; en este punto se mantiene constante la presión graduando la alimentación. Los casos en que no sucede así, son debidos a condiciones no comunes de operación y, principalmente, a características muy especiales de los sólidos que forman la torta, que se tratarán particularmente en cada corrida.

En la corrida No. 1 se puede ver que la tierra de diatomeas al 2 % se comporta regularmente en los dos períodos, manteniéndose perfectamente la presión constante en 2.7 Kls/cm<sup>2</sup>.

La corrida No. 2 se llevó a efecto con una mezcla preparada con las tortas formadas en la corrida No. 1. En las tablas se puede ver que las características de la torta son diferentes en los dos casos, aunque en ambos se trata de tierra de diatomáceas al 2 %, ya que en la corrida No. 1 la presión se elevó a 0.8 Kls/cm<sup>2</sup> en el primer minuto, mientras que en la corrida No. 2 se elevó en el mismo tiempo a 1.5 Kls/cm<sup>2</sup>, presión que se trató de conservar, pero hubo que permitir que aumentara a 2.0 Kls/cm<sup>2</sup> después de filtrar 100 Lts. de mezcla. Posteriormente se hizo necesario permitir otro aumento a 2.5 Kls/cm<sup>2</sup> a los 126 Lts. y otro más a 3 Kls/cm<sup>2</sup> a los 176 Lts. Esta corrida no tuvo período a gasto constante debido a que se reguló la alimentación desde



el primer minuto tendiendo de mantener la presión ya que la tierra ya había sido filtrada y no conservó sus características iniciales.

La mezcla de la corrida No. 3 se preparó con ceniza de cal ( $\text{CaCO}_3$ ) conteniendo sólidos de tamaño muy diverso (desde 10 mallas hasta más de 80 mallas). Como se aprecia en la tabla y en la gráfica, no tuvo un período claro de gasto constante y aunque se trató de mantener la presión en  $0.7 \text{ Kls/cm}^2$  no fué posible. Por lo tanto, la gráfica no presenta ninguna curva de filtración definida y no pueden calcularse  $C_v$  y  $V_e$ .

La mezcla de la corrida No. 4 se preparó con ceniza de cal ( $\text{CaCO}_3$ ) previamente tamizada a 80 mallas y tuvo un período perfectamente definido a gasto constante.

Por la experiencia de la corrida No. 3, no se intentó regular la alimentación, sin embargo, hacia el final de la corrida disminuyó el gasto.

En la corrida No. 5 (almidón al 3%), nuevamente se puede ver el comportamiento normal al aparecer bien definidos los períodos de gasto constante y presión constante.

En la corrida No. 6 se vé otra vez que cualquier factor que cambie, causa una variación en las características de la corrida, y por lo tanto, en las constantes de filtración. Una variación en la proporción de la mezcla (de 3% a 4% de almidón), causó que en el período a gasto constante, cambiara el gasto de 27 Lts/min. a 22 Lts/min.

La corrida No. 7, llevada a cabo con una mezcla de are-



na sílica al 7%, muestra que una corrida puede controlarse fácilmente desde el principio cuando la torta es formada por sólidos con características semejantes a las de la arena sílica. Muestra dos períodos de presión constante que resultaron con muy leve regulación de la alimentación. No se repitió la corrida debido a que la arena sílica se mostró muy abrasiva en la bomba.

Por lo que respecta a las constantes, se ve que son particulares no sólo para el filtro usado, sino también para cada mezcla preparada y para determinadas condiciones de operación; si se cambia cualquiera de las variables, cambian inevitablemente las constantes. En el capítulo anterior se ve que aún en una misma corrida cambian las constantes, con sólo cambiar la presión.

De una manera general, se puede decir que para una misma corrida, a mayor presión mayor  $C_v$  y a mayor  $C_v$  mayor  $V_e$ .

Desgraciadamente no fué posible incluir en este trabajo el cálculo de  $C_t$  y  $L_e$  debido a la imposibilidad de medir la variación del espesor de la torta con respecto al tiempo. Para esto serían necesarios marcos transparentes (de vidrio o plástico), de los que no hay información y en caso de que se fabriquen, sería sumamente difícil obtenerlos de las especificaciones deseadas.

El control de filtración por espesores de torta es muy apropiado y fácil de medir en los filtros continuos rotatorios.

En ninguna corrida se permitió que la presión aumentara



e 3 s/ m<sup>2</sup> . ju l lon , es capaz de elev s L u  
7 ls/cm<sup>2</sup> porque arriba de ese límite comienzan a presentar  
se fugas de suspensión entre marcos, placas y lonas.



El primer objetivo de la tesis se llevó a cabo ampliamente; con varios materiales se prepararon suspensiones de diferentes propiedades para formar tortas no compresibles de comportamiento diferente entre sí.

En dichas corridas se calculó tanto el  $C_v$  como el  $V_e$ , notándose que éstos varían, no sólo de suspensión a suspensión y la torta a torta, sino que aún en una misma suspensión y torta cambian, al cambiar las condiciones de operación.

De igual manera se cumplió el segundo objetivo; se hicieron todos los arreglos necesarios del filtro, el cual funcionó perfectamente durante toda la experimentación.

Se usaron únicamente suspensiones acuosas por su facilidad de preparación y de manejo, además de su bajo costo, aunque el filtro es adecuado para operar con muchos otros tipos de suspensiones, siempre que no sean corrosivas. Esto se puede obtener sin más cambio en el filtro que el uso del medio filtrante adecuado para cada tipo de suspensión.

B L O G A I

- (1) Badger W. L. & Banchemo J. T. "Introduction to Chemical Engineering"  
primera edición - Pág. 553 a 590  
Mc Graw - Hill book Co. Inc. 1955
- (2) Brown G. G. - "Unit Operations"  
cuarta edición - Pág. 210 a 247  
John Wiley & Sons, Inc. New York, 1953
- (3) Chalmers J. M., Elledge L. R. & Porter H. F. -  
"Filters" - Chemical Engineering  
Vol. 62 - Pág. 193 a 200  
Mc Graw - Hill Book Co. Inc. 1955
- (4) Duñne Carlos - "Apuntes de Filtración"  
segunda edición - Pág. 1 a 6  
I. T. E. S. M. - 1953
- (5) Ertel F. K. - "Catálogo No. 54" - Pág. 2 a 7  
Ertel Engineering Corp. - 1957
- (6) Shriver T. - "Catálogo No. 55"  
T. Shriver & Co. Inc. - 1955
- (7) Sperry D. R. - "Catálogo No. 7"  
D. R. Sperry & Co. - 1957
- (8) Walker W. M., Lewis W. K., McAdams W. H. &  
Gilliland B. R. - "Principles of Chemical Engineering"



Tercera edición, séptima impresión -Pág. 323 a 364  
Mc Graw - Hill book Co. Inc. 1937

