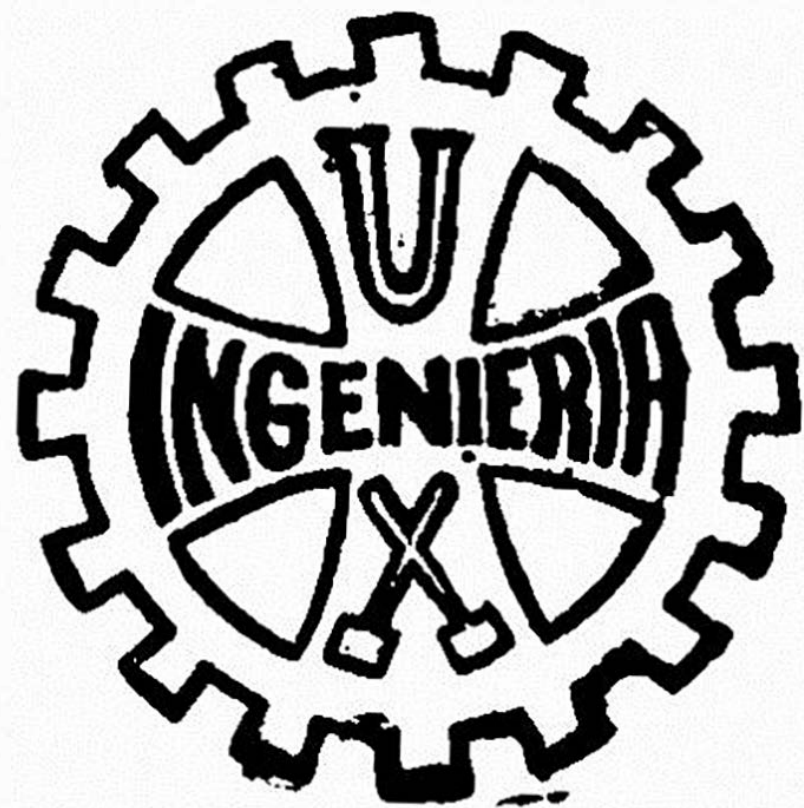


Universidad Nacional de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA SANITARIA



PROYECTO DE INVESTIGACION SOBRE FILTROS A PRESION PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES RURALES

TESIS

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO SANITARIO**

RUDDY NORIEGA PISSANI

JULIO INGAR APONTE

PROMOCION 1979

Lima • Perú • 1980

I N D I C E

PROYECTO DE INVESTIGACION SOBRE:

FILTROS A PRESION PARA PEQUEÑAS COMUNIDADES RURALES

Capítulo I - Introducción

1. Ideas generales
2. Objetivos
3. Fundamentos

Capítulo II - Turbidez artificial

1. Naturaleza de la turbiedad y del color
2. Turbiedad artificial

Capítulo III - Filtro ascendente

1. Antecedentes
2. Características generales :
 - 2.1 Granulometría
 - 2.2 Altura del lecho
3.
 - 3.1 Tasas de aplicación
 - 3.2 Pérdida de Carga
 - 3.3 Tasa de lavado
4. Eficiencia
5. Conclusiones

Capítulo IV - Filtro descendente

1. Características generales :
 - 1.1 Granulometría
 - 1.2 Altura del lecho

2. 2.1 Tasas de aplicación
2. 2.2 Pérdida de carga
2. 2.3 Tasas de lavado
3. Eficiencia
4. Conclusiones

Capítulo V - Superfiltro: dupla ascendente - descendente

1. 1.1 Tasa de aplicación
1. 1.2 Pérdida de carga
1. 1.3 Tasa de lavado
2. Eficiencia
3. Conclusiones

Capítulo VI - Aplicaciones

1. Aspectos Técnicos
2. Aspectos Económicos

Apéndice - Prefiltro de Grava

1. Antecedentes
2. Eficiencia en la remoción de la turbidez
3. Alcances y aplicaciones
4. Conclusiones

CAPITULO I - Introducción

1.- IDEAS GENERALES

El diseño de una eficiente y económica planta de tratamiento de agua requiere de un cuidadoso estudio de ingeniería, basado en factores tales como: la calidad y características de agua cruda, los niveles de impurezas permisibles, selección de los procesos unitarios a utilizarse y además, de un análisis tanto de viabilidad económica como de su posterior buena operación y mantenimiento, no existiendo fórmula única o método simple que determine los procesos o el tipo de planta a utilizarse en un determinado caso.

El factor que mas influencia tiene en el proceso de selección de métodos a ser utilizados en una planta de tratamiento es la calidad del agua, tanto del agua cruda como del producto final, agua tratada.

Agua absolutamente pura no se encuentra en la naturaleza, conteniendo sustancias tanto en solución como en suspensión, dependiendo de sus orígenes, como de las características del medio en el cual se encuentra. Las características del agua superficial difieren de cuenca en cuenca y son totalmente diferentes a las del subsuelo; para obviar estos problemas se señalan calidades de agua cruda con límites de contaminantes y constituyentes, de acuerdo a sus facilidades de remoción con tratamiento muy simple, normal o especial. En el Cuadro No. 1, se muestra una clasificación tentativa del agua cruda.

La definición de calidad aceptable para el agua potable es una tarea compleja, debiendo considerarse factores físicos, químicos, biológicos, bacteriológicos y virológicos.

En la selección de los procesos de tratamiento del agua se debe considerar la calidad, tanto para el agua cruda, como para el agua tratada, debiendo adicionalmente tomar en cuenta factores intrínsecos de la comunidad, tales como: grado de desarrollo socioeconómico, así como su capacidad de proveer los recursos materiales y humanos nece

CUADRO I - 1

CLASIFICACION DE AGUAS CRUDAS PARA POTABILIZACION

Contaminante o Característica	Unidad	Excelente	Buena	Deficiente
DBO (5 días) promedio mensual máximo día	ppm	0.75-1.50	1.50-2.5	22.50
Coliformes Promedio mensual máximo día	NMP/100ml	50-100 25%/100	100-5000 220%/5000	25000 25%/20000
Oxigeno disuelto Promedio Saturación	ppm	4.0-7.5 75 o mejor	4.0-6.5 60 o mejor	4
pH promedio	-	6.0-8.5	5.0-9.0	3.8-10.5
Cloruros (máx)	ppm	50	50-250	250
Fluoruros	ppm	1.5	1.5-3.0	3.0
Compuestos Fenó licos (máx)	ppm	insumo	0.005	0.005
Color	unidades	0 - 20	20-150	150
Turbiedad	unidades	0.10	10-250	250

sarios para construir, mantener y operar adecuadamente una planta de tratamiento de agua. En la gran mayoría de casos se requieren utilizar técnicas de filtración en cualquiera de sus formas. Muy pocas son las aguas que requieren solamente de desinfección para considerarse como potables. Generalmente, la importancia de la filtración aumenta al deteriorarse la calidad de los recursos hídricos por efecto de una creciente contaminación.

La eficiencia operacional del proceso de filtración depende de un gran número de factores interdependientes, tales como:

- Tamaño de los granos del medio filtrante
- Coeficiente de uniformidad
- Profundidad del medio filtrante
- Tipo de material filtrante utilizado
- Número de capas de diverso material o arreglo de la granulometría del medio filtrante
- Capacidad específica del medio filtrante
- Profundidad del medio (penetración)
- Variación de la velocidad de filtración
- Calidad del agua antes de la filtración, especialmente relacionada con el contenido de sólidos, tamaño y consistencia de los flóculos
- Calidad esperada del agua filtrada
- Dirección de la carrera de filtración
- Altura estática disponible para pérdida de carga
- Temperatura del agua.

El proceso de filtración se realiza por mecanismos de: transporte, adherencia, biológicos.

Los mecanismos de transporte son:

- Cernido

- Sedimentación
- Intercepción
- Difusión
- Impacto inercial

Los mecanismos de adherencia son debidos a:

- Fuerzas de Van der Waals
- Fuerzas electroquímicas
- Puente químico

Los mecanismos biológicos con acción preponderante a bajas velocidades de filtración son debidos a la capa activa biológica denominada Schmutzdeke y al crecimiento de algas, no estando claramente definida la importancia de cada uno de estos mecanismos.

No obstante todos los estudios realizados hasta el momento, no se ha podido encontrar un modelo matemático que describa exactamente el proceso de filtración. No existiendo un conjunto de fórmulas que permita mediante la selección de algunos parámetros calcular el resto de incógnitas y definir por anticipado el comportamiento de un filtro, los modelos existentes nos ayudan únicamente a comprender mejor el proceso de filtración y a cuantificar en forma aproximada el comportamiento de un filtro de características predeterminadas.

Es imprescindible realizar ensayos con filtros piloto para determinar con exactitud el comportamiento de un determinado filtro, operando con una determinada agua y en condiciones seleccionadas.

Los estudios realizados por Camp, Stein, Fair, Stanley, Mackrle, Smith, Ling, Hudson, O'Melia y Gregory, han posibilitado un conocimiento mas amplio de lo que sucede dentro de un lecho filtrante y han permitido en consecuencia, proponer cambios significativos en las practicas existentes:

Extensos trabajos realizados sobre el uso de altas velocidades de filtración iniciados por Baylis en Chicago, las experiencias de Conley sobre medios mixtos, permiten filtrar hasta con el triple de la velocidad que se usaba antes y, facilita ampliar sistemas de filtración existentes con un costo mínimo, cambiando solo los lechos filtrantes y se reduce notablemente la inversión de capital en nuevas plantas. Los estudios de Cleasby, Hudson y Greenleaf sobre métodos de control de filtros rápidos, han conducido a baterías filtrantes sin reguladores de caudal, que operan con velocidad decreciente así como la factibilidad de lavar un filtro en una batería de filtros con el flujo de los otros, simplificando así la construcción de galerías de tubos como la operación y el mantenimiento de ellas.

Al reunir estas modificaciones en un diseño, se puede llegar a una planta extraordinariamente simple y económica.

El presente trabajo plantea una solución de este tipo, en la que se muestra entre otras cosas como se puede construir una estación potabilizadora con pocas válvulas y con equipo todo manufacturado en el país, sin violar ninguno de los principios básicos de la tecnología del agua.

2.- OBJETIVOS

Este trabajo tiene por objetivo hallar los parámetros de diseño necesarios que nos llevan a desarrollar un modelo de planta de tratamiento de agua que pueda ser aplicado a pequeñas comunidades rurales.

Se pretende, utilizando la nueva tecnología existente en tratamiento de agua, diseñar sistemas modulares de filtración ascendente-descendente, o unidades de superfiltración, para así contribuir al desarrollo socio-económico-sanitario de poblaciones de bajo nivel económico.

La situación socio-económica del Perú, obliga al proyectista a establecer una mayor relación Beneficio/Costo basándose en tres principios:

- 1.- Baja inversión inicial y mínimo costo de operación que es el principio básico para la factibilidad de un proyecto.
- 2.- Máxima facilidad de explotación y mínimo costo de mantenimiento, determinante del tipo de unidad a proyectar, es la población u suaria caracterizada por:
 - Escasez de personal alta o medianamente capacitado.
 - Recursos humanos, económicos, materiales insuficientes para un adecuado mantenimiento.
 - Problemas de vías de comunicación.
- 3.- Agua tratada con calidad estrictamente indispensable. En consecuencia los módulos a diseñar serán:
 - Bajo costo inicial.
 - Máxima utilización de materiales nacionales.
 - Fácil instalación y mantenimiento.
 - No requerir mano de obra especializada.
 - Durable y de fácil transporte.
 - Mínimo equipo auxiliar.
 - Que satisfagan los requisitos mínimos de potabilidad.

3.- FUNDAMENTOS

La remoción de sólidos suspendidos por un lecho granular es bastante compleja. Se ha discutido mucho acerca de una variedad de mecanismos que tienen un papel importante en la remoción

Los mecanismos dominantes dependen de las características físicas y químicas de la suspensión y del medio, de la rata de filtración, y de las características químicas del agua.

La remosión de sólidos por el filtro puede ser hecha en la superficie del lecho por formación de una película de sólidos removidos y es probablemente realizada por el simple mecanismo de cernido. La eficiencia de este mecanismo puede mejorar con el tiempo durante la carrera de filtración. Sin embargo, la película es usualmente compresible, lo que se traduce en un desarrollo exponencial de la pérdida de carga; esto es, cada vez desarrollará con más rápidez la pérdida de carga en la unidad de tiempo.

Mas comurmente, sin embargo, la remosión se produce primariamente dentro del lecho filtrante, a lo cual los autores generalmente se refieren a filtración en profundidad. La eficiencia durante la remosión en profundidad depende de un número de mecanismos. Algunos sólidos pueden ser removidos por cernido intersticial. La remosión de otros sólidos, particularmente los más pequeños, dependen de dos tipos de mecanismo: Primero requieren un mecanismo de transporte para aproximar las partículas pequeñas desde el fluido hasta la superficie del medio. Dicho mecanismo puede incluir sedimentación gravitacional, difusión y fuerzas hidrodinámicas, y es afectado por fenómenos físicos tales como el tamaño del medio filtrante, rata de filtración, temperatura del fluido, densidad y tamaño de las partículas suspendidas. Segundo, cuando las partículas se aproximan a la superficie de los granos del lecho o a los sólidos previamente depositados en ellos, se requiere un mecanismo de adherencia para retener estas partículas. Este mecanismo puede involucrar interacciones electrostáticas, punte químico, o absorción específica, todo lo cual queda afectado por los coagulantes que se apliquen en el tratamiento y por las características químicas del agua y del lecho.

Durante la filtración en filtros granulares profundos, los sedimentos se depositan en los granos, removidos por uno o más de los mecanismos discutidos. Las partículas quedan retenidas en el filtro en estado de equilibrio con las fuerzas cortantes hidrodinámicas que tienden a romperlas y a hacerlas penetrar cada vez más profundamente dentro del lecho. A medida que el filtro se ensucia más, las velocidades a través de las capas más colmatadas del filtro incrementan y por tanto dichas capas se vuelven menos efectivas para la remoción de partículas. La carga de remoción pasa entonces a capas más profundas dentro del filtro. Por último no queda suficiente profundidad del lecho limpio como para obtener la calidad deseada en el efluente y la carrera de filtración debe de terminar.

Si la tasa de filtración en un filtro sucio incrementa rápidamente, las fuerzas hidráulicas cortantes también incrementan subitamente. Esto disturba el equilibrio existente entre los sólidos depositados y el agua, y por tanto, algunos de estos sólidos tienden a desprenderse y a pasar con el efluente. Según sea el tipo de sólidos y la magnitud y rapidez de los cambios de tasa de flujo, el efecto puede ser muy drástico. Por esta razón todos los cambios rápidos de velocidad de filtración deben ser evitados en el diseño.

El flujo del agua a través de un filtro, a las tasas comúnmente empleadas, es hidráulicamente similar al flujo a través de un estrato poroso del suelo. El flujo sigue la ley de Darcy; está en el rango laminar cuando el lecho esté colmatado debido a los sólidos removidos.

A medida que el filtro retiene impurezas, los espacios vacíos por donde puede pasar el flujo disminuyen y por tanto la velocidad de filtración a través del lecho incrementa necesariamente. A fin de mantener la rata de filtración que se desea se requiere más y más energía para forzar el agua a través del filtro sucio y superar así la pérdida por

fricción dentro de él. Este fenómeno se observa como una disminución de la energía total del agua desde el afluente hasta el efluente del filtro. Cuando esta disminución de energía, la que comúnmente se conoce como pérdida de carga, se vuelve antieconómicamente grande, o cuando la rata de flujo no se puede mantener con el equipo disponible, o cuando la calidad del agua se deteriora debido al paso de materia suspendida, el filtro debe sacarse de servicio y limpiarse. La pérdida de carga a través de materiales granulares en el rango laminar ha sido formulada por Darcy como sigue:

$$V = KS$$

donde:

K = coeficiente de permeabilidad (pies/min)

S = gradiente hidráulico = h/L (sin dimensiones)

h = pérdida de carga (pies de pérdida de presión del fluido)

L = espesor del lecho (pies)

El coeficiente de permeabilidad puede ser determinado experimentalmente.

CAPITULO II - Turbidez Artificial

1.- NATURALEZA DE LA TURBIEDAD Y DEL COLOR

El agua en su forma molecular no existe en la naturaleza, por cuanto contiene sustancias que pueden estar en suspensión o en solución verdadera, según el tamaño de disgregación del material que acarrea. Por otra parte, de acuerdo con el tipo de impurezas presentes, el agua puede aparecer como turbia o coloreada, o ambas.

Los contaminantes causantes de la turbiedad en el agua son las partículas en suspensión, tales como arcilla, minerales, sedimentos, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros microorganismos. Los tamaños de las partículas varían desde partículas coloidales 10^{-3} micras a 10^3 micras.

Muchas de estas partículas aparentemente inofensivas por sí mismas, pueden afectar indirectamente la calidad del agua, actuando como medios o núcleos de concentración, transporte o protección de microorganismos, virus, contaminantes orgánicos e inorgánicos, enzimas, etc.

La turbiedad está principalmente formada por arcillas en dispersión. El término arcillas comprende una gran variedad de compuestos, pero en general se refiere a tierra fina de un diámetro menor o igual a 0.002 mm., a veces coloreada, que adquieren plasticidad al mezclarse con determinada cantidad de agua.

Químicamente son silicatos complejos de Al, Fe, Mg, K. Las arcillas más comunes son:

Caolinita	:	$Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8 + Al_4(Si_4O_6)(OH)_{16}$
Montmorillonita (Bentonita)	:	$Al/Mg/(Si_8O_{20})(OH)_4 \cdot xH_2O$
Ilita	:	$K_y Al_4/Fe_4 Mg_4 Mg_{16}/(Si_8 Y Al'_y)_O_{20}$
Muscovita	:	$K_2 Al_4 (Al_2 Si_6 O_{20})(OH)_4$

(*) Los elementos con /./ pueden sustituirse por el material que se encuentra a la izquierda.

La arcilla tiene una gran área superficial (6000 m² por cm³ de partículas de 10⁻³ micras), desarrollando una fuerte absorción de agentes biológicos, iones y moléculas polares y no polares.

CUADRO II - 1

Diametro Partícula mm.	Escala de Tamaños	Area Superficial. Total	Tiempo Requerido para Sedimentar
10	Grava	3.15 cm ²	0.3 seg.
1	Arena gruesa	31.5 cm ²	3 "
0.1	Arena fina	315 cm ²	38 "
0.01	Sedimento	3150 cm ²	33 min.
0.001	Bacteria	3.15 m ²	55 horas
0.0001	Partic.coloidal	31.5 m ²	230 días
0.00001	" "	0.283 Ha	6.3 años
0.000001	" "	2.83 Ha	63 "

(*) Esferas de gravedad específica 2.65 sedimentando 30 cm.

El color está constituido por sustancias químicas, la mayoría de veces provenientes de la degradación de materia orgánica, como plantas acuáticas y hojas con las cuales entra en contacto el agua. Los principales constituyentes del color orgánico natural del agua, son los ácidos fúlvicos, himatomelánicos y húmicos, conocidos como sustancias húmicas. Estas sustancias están compuestas por moléculas aromáticas de elevado peso molecular que muestran características polianiónicas en soluciones neutras o alcalinas.

Recientemente se ha encontrado que el color natural del agua reacciona con el cloro para producir compuestos organoclorados, principalmente cloroforno, Cl_3CH , y otros trihalometanos, el primero de los cuales ha demostrado propiedades carcinogénicas.

2.- TURBIEDAD ARTIFICIAL

Al no contar con agua natural para las experiencias con las unidades de filtración, se pensó preparar un agua con turbiedad artificial, de tal manera que nos permitiera mantener una turbiedad en el agua cruda entre 100 y 250 UJ, que sería la turbidez límites de aplicación para nuestras unidades de filtración directa.

Al revisar bibliografía sobre preparación de turbiedad artificial se encontró en el documento técnico No. 2 publicado por el CEPIS, "Polímeros Naturales y su aplicación como ayudantes de floculación", un procedimiento de activación de arcillas utilizando caolín, el procedimiento era el siguiente:

- a.- Se hirvió durante una hora la arcilla suspendida con 10% H_2SO_4 concentrado para inducir al fraccionamiento de los cristales de Caolín y la disolución de los iones orgánicos e inorgánicos que se encuentran con impurezas en la muestra.
- b.- Se separó por decantación el material sólido, el cuál se lavó con agua destilada repetidas veces, hasta lograr obtener una solución de pH 6.
- c.- El residuo así lavado se desecó a $110^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ para evaporar la mayor parte del agua ocluida en los cristales.

d.- La torta seca obtenida se molió finamente en un mortero de mullita hasta producir un polvo muy fino (malla No. 350). Para facilitar la operación, la masa se humedeció en alcohol y se secó luego a 70-80°C en la estufa.

Para los ensayos mezclaron el caolín con agua de caño, dejándola decantar tres horas, con el sobrenadante prepararon una solución de 50 UJ que resultó ser muy estable.

Dado el volumen de arcilla requerido para las pruebas y lo complicado del procedimiento anteriormente descrito, decidimos buscar una arcilla comercial de tamaño coloidal que permaneciese en suspensión largo tiempo sin variar su turbidez. Para lo cual conseguimos muestras de arcillas que pasaban la malla No. 325 (Compañía Minera Baribent). El procedimiento experimental fue el siguiente:

- Se prepararon soluciones de 250, 500, 750, 1000 ppm. a las cuales se les determinó la turbidez inicial.
- Después de dejarla sedimentar 1 1/2 horas en conos Imhoff, se determinaba la turbiedad final.

Los resultados se muestran en los siguientes cuadros:

CUADRO II - 2-a

DIATOMITA

Concentración ppm	Turbiedad		
	Inicial UJ.	Final UJ.	Remov%
250	52	17	67.3
500	130	20	84.6
750	180	35	80.5
1000	240	47	80.4

CUADRO II - 2-b

TONSIL

Concentración ppm	Turbiedad		
	Inicial UJ.	Final UJ.	Remov%
25	15	15	--
50	21	20	4.8
75	38	30	21.1
100	69	39	43.5
250	82	42	48.8
500	146	50	65.8
750	200	54	73.0
1000	250	50	80.0

CUADRO II - 2-c

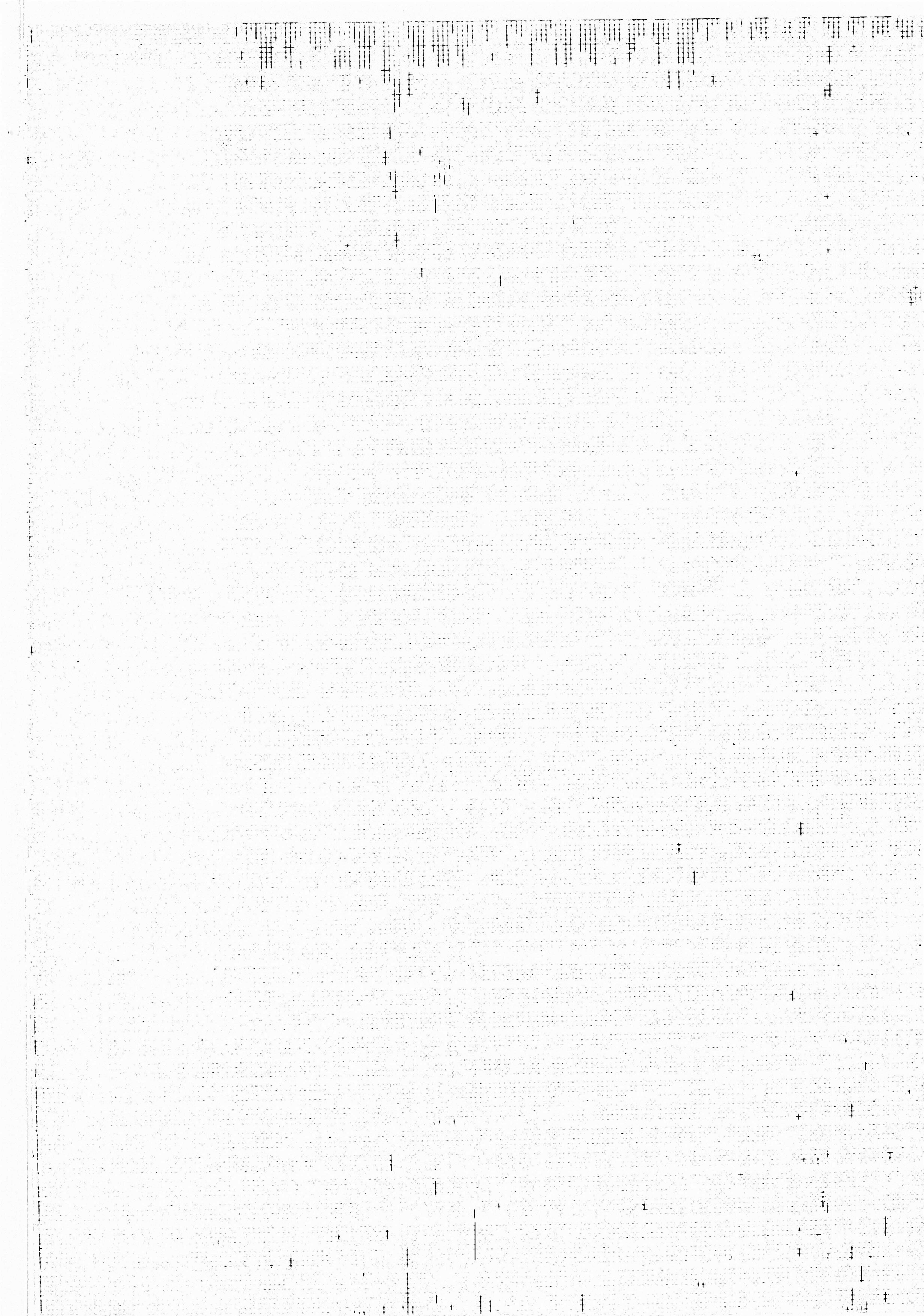
ACUAGEL

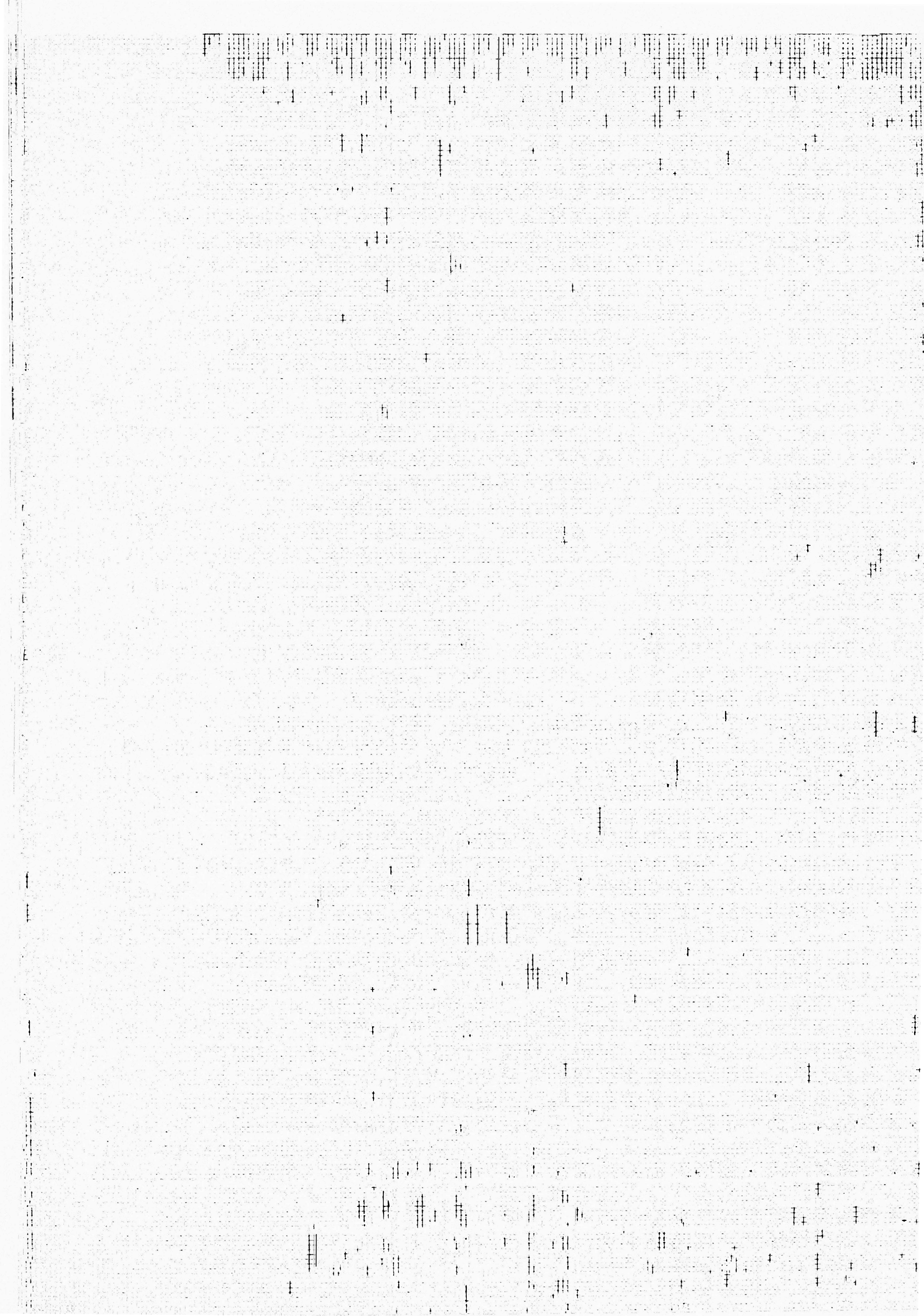
Concentración ppm	Turbiedad		
	Inicial UJ.	Final UJ.	Remov%
250	118	22	81.4
500	210	18	91.4
750	300	15	95.0
1000	400	30	92.5

CUADRO II - 2-d

BENTONITA

Concentración ppm	Turbiedad		
	Inicial UJ.	Final UJ.	Remov%
250	58	32	44.8
500	159	30	81.1
750	192	20	89.6
1000	290	18	93.8





Como se demuestra en los cuadros, a mayor concentración de arcillas se tiene una mayor turbiedad inicial y una menor turbiedad final. Por otra parte, en las muestras de Acuagel y Bentonita se produjo una sedimentación flocculenta que se explicó de la siguiente manera:

Si se introducen partículas de arcilla en agua destilada, la carga negativa sobre cada partícula causa la repulsión de cualquier otra partícula que trate de aproximarse. Ninguna partícula se adhiere a otra partícula, la fuerza de gravedad sobre cualquiera de ellas permanece despreciablemente pequeña y las partículas sedimentan muy despacio o quedan en suspensión mostrando el movimiento browniano. En las aguas naturales que contienen una suficiente concentración de electrolitos, como son las aguas duras, tal es el caso de la UNI que tiene una dureza total de 400 ppm., las superficies de algunas partículas pueden, entonces ser atraídas por otras, acumulándose en flóculos, llegando estos a ser lo suficientemente grandes como para sedimentar en el fondo por efecto de la gravedad.

Al no obtener los resultados esperados con estas arcillas, decidimos realizar pruebas complementarias con otras muestras. Para esto se varió el procedimiento, el cual consistía en moler finamente el material en un mortero de mullita y tamizarlo en malla No. 140, del material que pasaba esta malla se prepararon soluciones de 250, 500, 750 y 1000 ppm., dejándolas decantar, tomando muestras cada cinco minutos.

CUADRO II - 2-e

MATERIAL SEDIMENTADO EN TANQUE ELEVADO

Concentración ppm	Turbiedad Removida % / Tiempo por Minuto						
	5	10	15	20	25	30	120
250	21.4	15.7	23.6	21.4	23.6	21.4	42.8
500	22.1	24.6	28.3	26.5	27.2	29.4	52.9
750	35.5	41.1	43.3	40.0	41.8	44.4	66.1
1000	24.1	35.3	44.8	44.8	47.4	47.5	70.3

CUADRO II - 2-f

MEZCLA DE ARCILLAS DEL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

Concentración ppm.	Turbiedad Removida % / Tiempo por Minuto						
	5	10	15	20	25	60	90
250	25.0	31.8	40.9	48.9	48.0	48.9	48.9
500	40.4	43.6	48.9	56.4	55.3	57.4	62.8
750	28.0	38.6	42.8	49.3	51.6	53.5	57.2
1000	29.6	40.4	45.4	48.1	51.1	57.7	57.7

CUADRO II - 2-g

ARCILLA DE LA SELVA (JUAN-JUI)

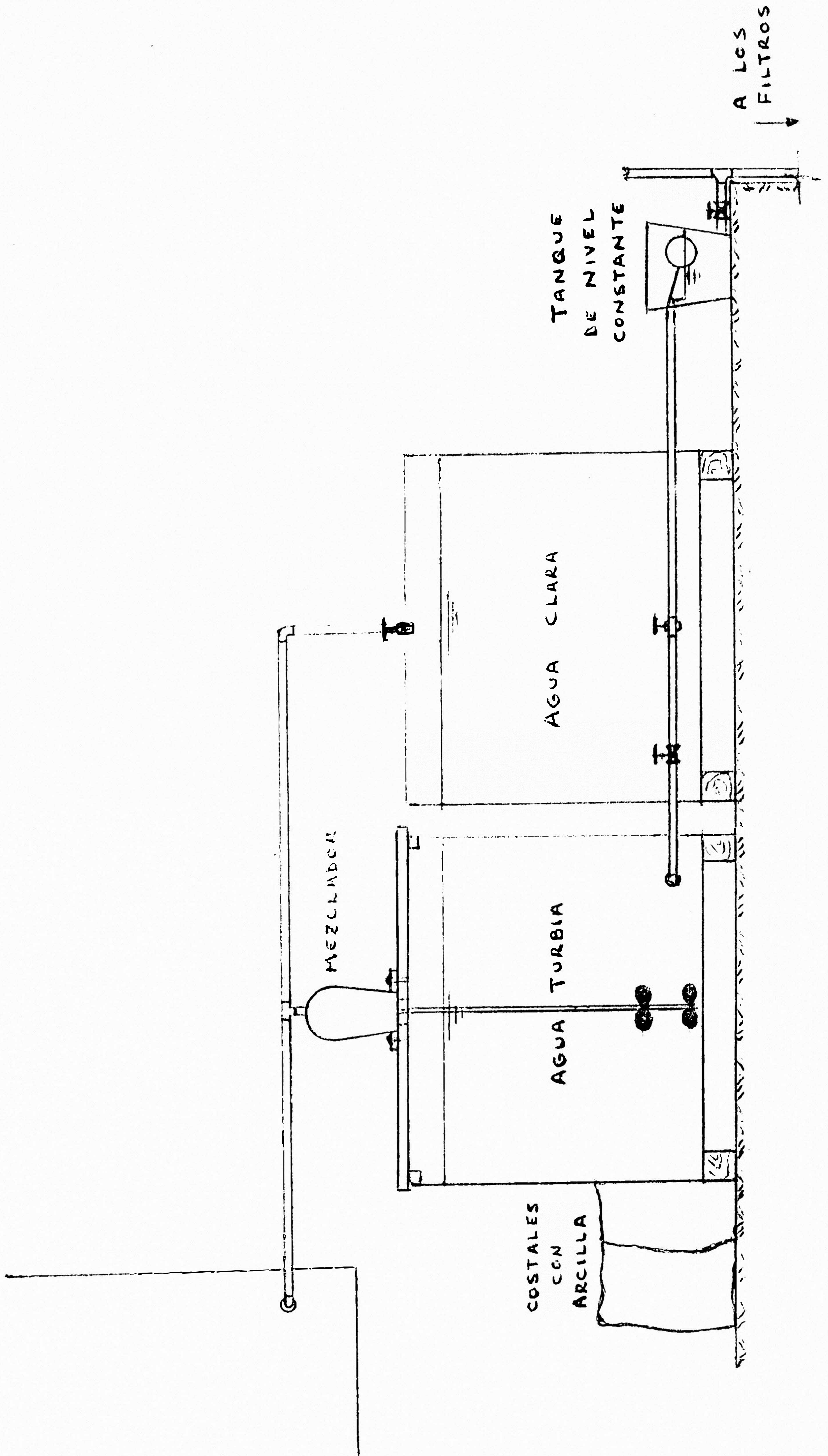
Concentración ppm.	Turbiedad Removida % / Tiempo por Minuto						
	5	10	15	20	25	30	60
250	12.6	21.9	-.-	45.1	47.1	54.5	56.1
500	8.7	14.7	39.7	45.2	44.4	45.2	57.1
750	3.0	13.3	39.4	38.5	45.5	49.1	60.0
1000	13.3	27.3	44.4	48.4	52.2	58.2	59.8

Como se puede apreciar en los cuadros anteriores, la arcilla que mejor resultado nos dio fue la mezcla de arcillas del laboratorio de Mecánica de Suelos. Como a pesar de nuestros esfuerzos, no alcanzamos el objetivo de mantener una turbidez entre 100 y 250 UJ, decidimos utilizar un método mecánico de mantener las partículas en suspensión. Este consistía en un motor agitador marca Lightning de 1/6 HP (1700 RPM) montado sobre el tanque de mezcla, el cual permanecía funcionando durante todas las pruebas, como se muestra en el Esquema 1.

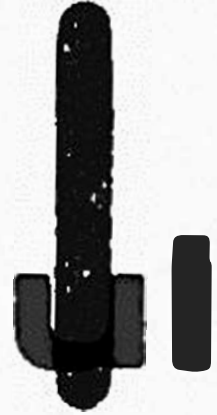
Como la cantidad de arcilla suministrada por el laboratorio de Mecánica de Suelos no era suficiente, visitamos la Fábrica de Ladrillos REX, donde nos facilitaron el material arcilloso recuperado de las centrífugas, consistente en un polvo de textura impalpable que resultó excelente para las pruebas de filtración.

ESQUEMA 1

EQUIPO MEZCLADOR PARA LA
PREPARACION DE TURBIDEZ ARTIFICIAL



d



i



a



Casilla 4337, Lima 100, Perú

Télex: 21052PE CEPIS

N° 3 - Diciembre 1978

TURBINEF

TURBIDIMETRO DE FACIL CONSTRUCCION Y BAJO COSTO

I. INTRODUCCION

La efectividad de los procesos de tratamiento de aguas superficiales es generalmente evaluada en términos de remoción de turbiedad. Mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación, se pueden alcanzar niveles de 5 a 10 unidades y con una filtración adecuada se logran turbiedades menores que una unidad, aunque de acuerdo a normas internacionales se pueden aceptar hasta 5 unidades.

Entre las razones para remover la turbiedad del agua para bebida podemos señalar:

1. La turbiedad puede estar asociada con la presencia de microorganismos patógenos (bacterias y virus) y presentar así directamente un peligro para la salud.
2. Varios estudios han demostrado la existencia de una relación entre turbiedad y eficiencia de desinfección con cloro. (1) (2) y (3). En general, la conclusión de estos estudios es que las partículas que la ocasionan pueden proteger a los microorganismos patógenos de la acción desinfectante del cloro.

Por otro lado, estudios en los Estados Unidos e Inglaterra han demostrado la alta efectividad desinfectante del cloro libre cuando el agua tratada tiene menos de una unidad de turbiedad. (4) (5).

Las aguas turbias son ricas en nutrientes y materia orgánica, que estimulan el crecimiento de microorganismos dentro del sistema de distribución. Un ejemplo de esta posibilidad ha sido reportado en un hospital de los Estados Unidos. (6). La calidad del agua puede ser afectada por la demanda de cloro que ejerce la materia orgánica y por malos olores y sabores causados por el metabolismo y la descomposición de las bacterias.

En la actualidad no es fácil evaluar el nivel de turbiedad en muchas plantas pequeñas de tratamiento por no contar con equipos de la sensibilidad requerida para la medición de bajos niveles.

En el presente estudio se describe la confección y el uso de un turbidímetro sencillo de comparación visual, de fácil manipulación - denominado "Turbinef" - que puede utilizarse para evaluar bajos niveles de turbiedad. La construcción puede efectuarse con materiales disponibles en el mercado local a un precio mucho menor que el costo de un equipo sofisticado, tal como un nefelómetro de detección fotoeléctrica. El costo que demanda construir y armar el Turbinef es de aproximadamente EUA\$160.00 (principalmente debido a los tubos Nessler utilizados), mientras que un nefelómetro comercial tiene un precio de EUA\$2,300.00. Las cifras precedentes corresponden al Perú, pero se estima que son válidas para otros países en desarrollo.

II. MEDICION DE TURBIEDAD

Para medir altos niveles de turbiedad se pueden emplear los turbidímetros que tienen como principio básico la transmisión de la luz a través de la muestra. Un instrumento que funciona con este principio es el turbidímetro Jackson, que está calibrado para medir niveles de 25 a 5,000 Unidades Jackson (UJ).

La medición de turbiedades bajas es más significativa desde el punto de vista de salud puesto que generalmente corresponde a aguas tratadas. Los niveles bajos son medidos con más exactitud y precisión con un nefelómetro, instrumento que se basa en la medición de la reflexión de la luz dispersa, generalmente a 90°. La detección de la luz se realiza con un fotomultiplicador y la respuesta se obtiene mediante un medidor electrónico.

El Turbinef también se basa en el principio nefelométrico, pero reemplaza el fotomultiplicador con el ojo humano y la lectura se realiza directamente por comparación, con un considerable ahorro en el costo.

Turbinef

La idea de construir un turbidímetro sencillo basado en el principio nefelométrico no es nueva. Por ejemplo, Baylis construyó un nefelómetro simple en 1926 que fue utilizado para la medición de turbiedad en la planta de tratamiento de Chicago. (7). Otro equipo sencillo es el turbidímetro St. Louis. (8).

El Turbinef está basado en el de Baylis, pero con algunas modificaciones importantes. Es bastante más compacto (30 cm. de altura en vez de 77.5), la luz dispersa se observa contra un fondo azul (blanco en el de Baylis) y es de más fácil manejo.

El Turbinef ha sido construido en madera terciada, con el interior pintado íntegramente de negro. La lámpara usada es de 40 watts, convenientemente ubicada para que los extremos de los filamentos sean simétricos a los tubos de medición. El reflector es una pieza de cartón forrada con papel de aluminio y está ubicado en la parte posterior del foco. Los tubos que contienen los patrones y las muestras son del tipo Nessler, de forma alta, de 50 ml. En la base, ubicada debajo de los tubos, va colocado un vidrio opalescente que soporta un cristal azul de cobalto; a un costado y en forma perpendicular se ubica otro cristal azul de cobalto. En los agujeros donde se insertan los tubos se colocaron tapas de plástico convenientemente horadadas, de tal manera que al colocar los tubos se ajusten sin dejar espacios por donde penetre la luz. La cara superior, inclinada, está ubicada detrás de la zona donde se colocan los tubos, es movable y sirve como tapa del instrumento. (Ver en Anexos la lista de materiales y planos).

No se ha propuesto una teoría definitiva para explicar el funcionamiento del instrumento pero, según los ensayos efectuados, el filtro y fondo azul aumentan la sensibilidad. Esto se debe posiblemente a que el color azul se dispersa más que los otros colores del espectro.

III. PARTE EXPERIMENTAL

Se prepararon suspensiones de diferentes valores de turbiedad utilizando formazina, bentonita y agua gel*.

En la Tabla 1 se aprecia que las mediciones realizadas con el Turbinef, comparadas con las tomadas con un nefelómetro electrónico HACH 2100A no presentan una diferencia significativa. Calculando la correlación estadística que existe entre los valores leídos con cada uno de los dos instrumentos, se halla que es de 1.00 cuando las muestras y las suspensiones de concentración conocida tienen la misma clase de turbiedad, y que es de 0.99 cuando las muestras y las suspensiones conocidas corresponden a diferentes tipos de compuestos.

Los resultados de la medición de muestras de agua filtrada de una planta de tratamiento, tomadas con el Turbinef y el turbidímetro HACH 2100A, tienen una correlación estadística de 0.95 cuando las suspensiones de concentración conocida son de formazina y de 0.87 cuando se prepararon en base a agua cruda de turbiedad medida con el turbidímetro Jackson.

Evaluación del Turbinef

Este instrumento permite medir niveles de turbiedad menores que 25 UN. Su ámbito de mayor sensibilidad es entre 0 y 1.5 UN, donde se puede distinguir perfectamente entre dos suspensiones que difieren en 0.2 UN. En el ámbito de medición entre 1.5 y 3.0 UN se distingue 0.3 UN de diferencia y, con suspensiones entre 3 y 10 UN, se lee con una precisión de ± 0.5 UN.

El ámbito de turbiedad de interés en plantas de tratamiento de agua es de 0 a 5 y, de acuerdo a ensayos, podemos efectuar estas mediciones con mucha sensibilidad.

IV. INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL TURBINEF

De los ensayos realizados con el Turbinef en una planta de tratamiento de agua y de los resultados obtenidos en estas pruebas, se considera que puede ser usado para el control rutinario del nivel de turbiedad del agua filtrada. El procedimiento utilizado es el siguiente:

1. En un tubo Nessler se agrega la muestra hasta la marca de 50 ml.

* Anhídrido silícico (SiO_2) con 2-10% de H_2O y aproximadamente 1.5% de óxidos no volatilizables con HF.

2. Se coloca el tubo en el orificio izquierdo del turbidímetro.
3. Se enciende el instrumento y se aprecia la intensidad del color azul, para seleccionar las suspensiones de turbiedad conocida más cercanas al nivel de turbiedad de la muestra.
4. Se introducen en el orificio derecho los tubos que contienen niveles de turbiedad conocida y, por comparación, se determina entre qué valores se encuentra la turbiedad de la muestra. Debe tenerse presente que en los niveles de turbiedad bajos se apreciarán una coloración azul y transparencia a través de la suspensión, que irán disminuyendo al aumentar los valores de turbiedad.
5. Informe del resultado de las mediciones como UN (Unidades Nefelométricas).

En el control rutinario en una planta pequeña, el Turbinef puede ser usado de las dos maneras siguientes:

1. En combinación con el turbidímetro Jackson. Se toma una cantidad de agua cruda y se mide su nivel de turbiedad con un turbidímetro Jackson. Una vez conocido este valor, se efectúan las diluciones correspondientes con agua destilada libre de turbiedad, para obtener niveles conocidos en el ámbito de la muestra. Estas suspensiones de baja turbiedad deben ser preparadas cada vez que se observan indicios de deterioro.
2. Con suspensiones de formazina como patrones de turbiedad. Una suspensión de 4,000 UN se prepara por síntesis directa y no necesita ser calibrada, debido a la precisión con que se repite el nivel de turbiedad al prepararla, siguiendo las siguientes instrucciones:
 - (a) Disolver 5 gramos de sulfato de hidrazina* $(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ en agua destilada.
 - (b) Disolver 50 gramos de hexametenetetramina* $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ en agua destilada.
 - (c) Mezclar las dos soluciones y diluir a 1 litro con agua destilada en un frasco volumétrico y dejar en reposo por 48 horas a $25 \pm 3^\circ\text{C}$.

De la suspensión de turbiedad de 4,000 UN se preparan, por diluciones sucesivas, suspensiones de 400 UN, 40 UN y 4 UN. A partir de la suspensión de 40 UN se preparan las diluciones comprendidas entre 25 UN y 4 UN y, a partir de la de 4 UN, se preparan las diluciones menores.

Para obtener las suspensiones más diluidas, se diluye lo siguiente a 100 ml volúmenes de suspensión de turbiedad conocida:

Para obtener 100 ml de suspensión de	Mezclar ml de suspensión		ml de agua
	de 40 UN	4 UN	
5 UN	12.5		87.5
4.5 UN	11.25		88.75
4 UN	10		90
3.5 UN	-	87.5	12.5
3.0 UN	-	75.0	25.0
2.5 UN	-	62.5	37.5
2.0 UN	-	50.0	50.0
1.5 UN	-	37.5	62.5
1.0 UN	-	25.0	75.0
0.5 UN	-	12.5	87.5

* Los reactivos se pueden adquirir como:

- a. Hydrazine sulfate (ACS)
- b. Hexamethylenetetramine

en las siguientes firmas:

- Fisher Scientific Co.
- J.T. Baker Chemical Co., 222 Red School Lane, Phillipsburg, N.J. 08865, EUA.
- Mallinckrodt Corporate Headquarters and Mid America Region, Second and Mallinckrodt Streets, Post Office Box 5439, St. Louis, Missouri 63160, EUA.

Para efectuar las mediciones en el ámbito de interés en plantas de tratamiento de aguas - 0 a 5 UN - se podrían tener dos series de suspensiones de turbiedad conocida, una de 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 y otra de 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 y 5.0. Según el nivel de turbiedad que presenta la muestra de agua, se emplea la serie más conveniente.

Las suspensiones de formazina de turbiedades menores de 40 UN deben ser preparadas semanalmente, pues al cabo de este tiempo se descomponen.

Tabla 1

EVALUACION DEL TURBINEF

(Las cifras corresponden a unidades nefelométricas - UN)

Patrones de Formazina Muestras de Formazina		Patrones de Bentonita Muestras de Bentonita		Patrones de Formazina Muestras de Bentonita		Patrones de Formazina Muestras de Agua Gel	
Hach 2100A	Turbinef	Hach 2100A	Turbinef	Hach 2100A	Turbinef	Hach 2100A	Turbinef
1.0	1.03	1.0	1.03	1.0	1.57	1.0	1.89
2.0	2.05	2.0	2.00	2.0	2.38	2.0	2.90
3.0	3.07	3.0	3.00	3.0	3.19	3.0	3.91
4.0	4.09	4.0	4.00	5.0	4.8	5.0	5.92
6.0	6.14	6.0	6.00			8.0	8.95
Indice de correlación: r = 1.00		Indice de correlación: r = 1.00		Indice de correlación: r = 0.99		Indice de correlación: r = 0.99	
Ecuación de la recta: x = 0.01 + 1.02y		Ecuación de la recta x = -0.05 + 1.0y		Ecuación de la recta: x = 0.77 + 0.81y		Ecuación de la recta: x = 0.88 + 1.01y	

BIBLIOGRAFIA

- SANDERSON, W.W. & KELLY, S. Discussion of "Human Enteric Viruses in Water: Sources, Survival and Removability", by Clark, et al. International Conference on Water Pollution Research, 1/London, Sep. 1962. London, Pergamon Press, 1974. p. 536-541
- TRACY, Harry W.; CAMARENA, Víctor M. & WING, Frederick. Coliform persistence in highly chlorinated waters. Journal AWWA, 58(9):1151-1159, Sep. 1966
- CHANG, Shih L.; WOODWARD, Richard L. & KABLER, Paul W. Survey of free-living nematodes and amebas in municipal supplies. Journal AWWA, 52(5):613-618, May 1960
- BUELOW, Ralph W. & WALTON, Graham. Bacteriological quality vs. residual chlorine. Journal AWWA, 63(1):28-35, Jan. 1971
- TAYLOR, E.W. Forty-second report of the results of the bacteriological, chemical, and biological examination of the London waters for the years 1965-1966. London, Metropolitan Water Board, 1967
- ROUECHE, B. Annals of Medicine. Three sick babies. The New Yorker, Oct. 5, 1968
- BAYLIS, John R. Turbidimeter for accurate measurement of low turbidities. Industrial and Engineering Chemistry, 18:311, Mar., 1926
- GRAF, August V. A low reading turbidimeter. American Journal of Public Health, 20:309-311, Mar. 1930

LISTA DE MATERIALES QUE SE EMPLEARON PARA LA CONSTRUCCION DEL TURBINEF.

- a. Madera terciada simple:
 - 2 piezas de 35.3 x 30 cm. (Salen los cortes 1 y 2)
 - 2 piezas de 35.3 x 20 cm. (Salen los cortes 3, 4, 5, 6, 7 y 8)
 - 2 tiras de 30.3 x 1.0 cm.
- b. Madera de 3/4 de pulgada de grosor:
 - 2 piezas de 12.5 x 10 cm. (Salen los cortes 9 y 10, Nótese el detalle de los mismos en la Fig. 3)
- c. Clavos de 1 cm.
- d. Pegamento para madera
- e. Lámpara incandescente de 40 watts
- f. Un metro de cable eléctrico corriente
- g. Interruptor de corriente simple
- h. Enchufe para la instalación eléctrica
- i. Cristal azul de cobalto de 10 x 10 cm.
- j. Cristal azul de cobalto de 10 x 3 cm.
- k. Cristal blanco opalino de 10 x 5 cm.
- l. Dos tapas de plástico de 1/2 pulgada
- m. Doce tubos Nessler de 2 cm, de diámetro y 30 cm, de largo. (50 ml., forma alta)
- n. Un soporte para tubos Nessler de 50 ml., forma alta.

CONSTRUCCION

Tras haber obtenido todos los materiales arriba indicados, se procede a cortar las piezas de madera según las dimensiones indicadas en la Figura 1,

El instrumento se arma siguiendo el orden y posición de las piezas demostrado en la Figura 2. Para unir las piezas se usa pegamento de madera (cola), ajustándose con clavos.

La Figura 4 nos muestra el Turbinef terminado.

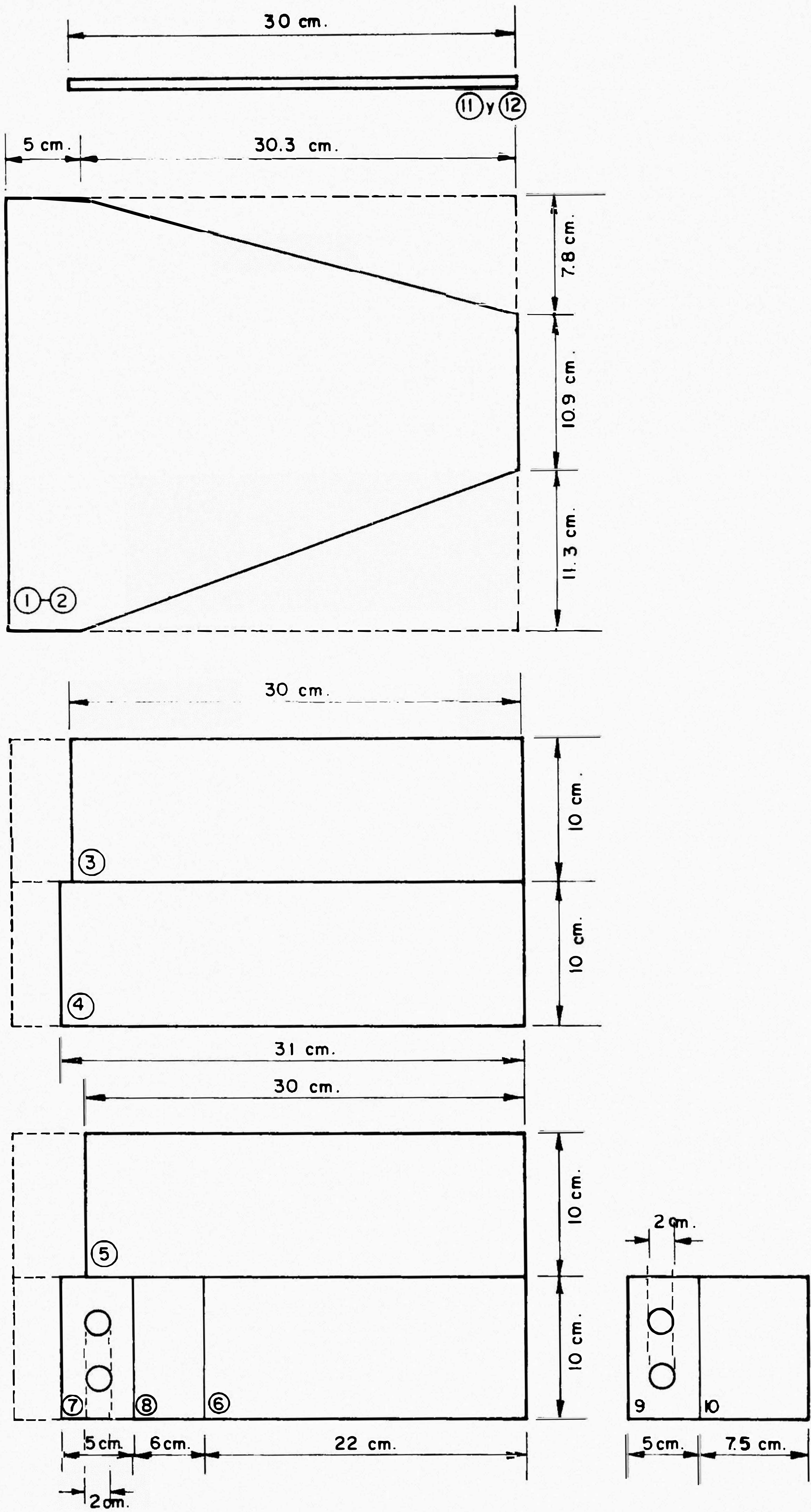


Figura 1 - Cortes de madera necesarios para la construcción del turbinef

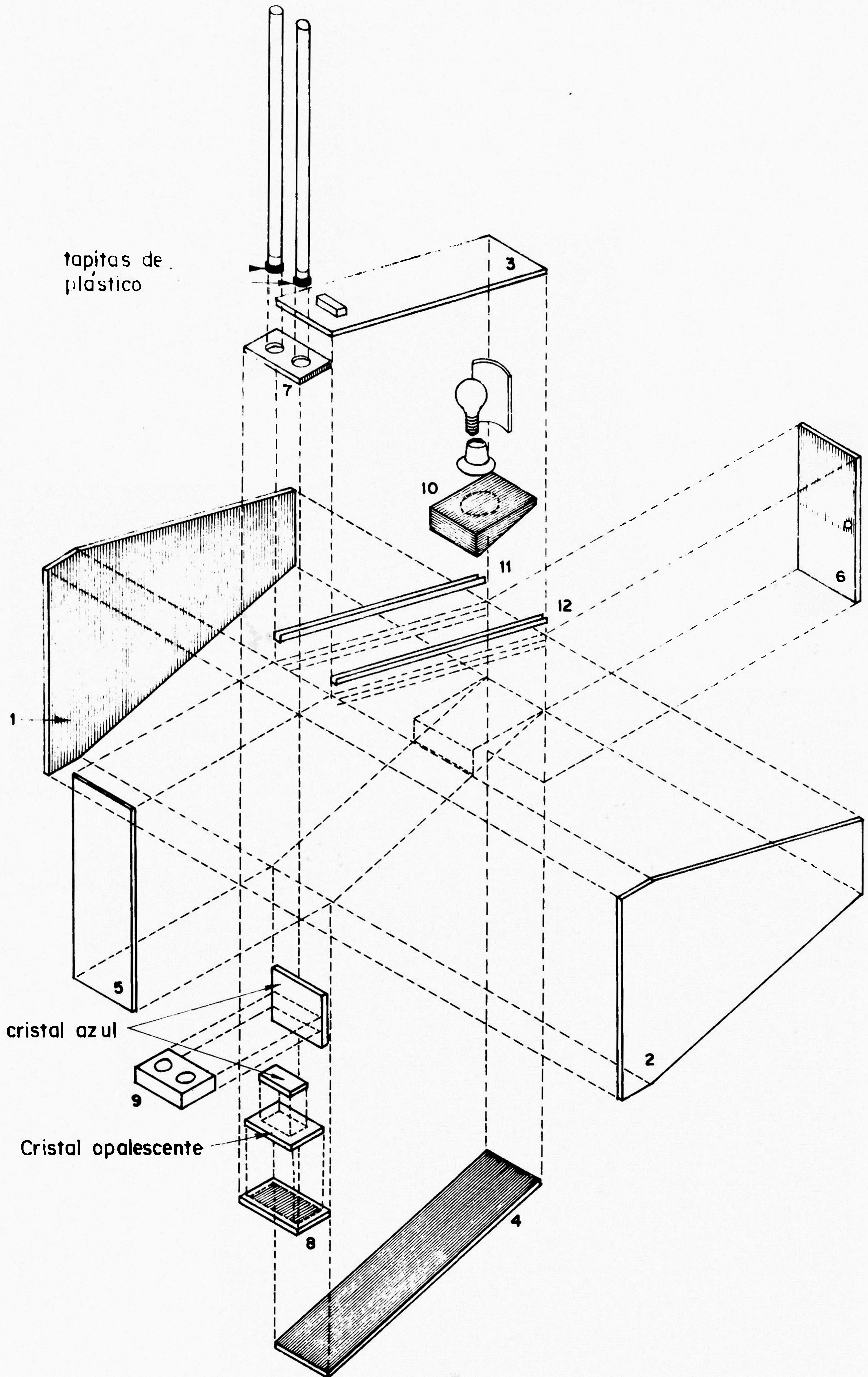


Figura 2 - Orden de las piezas para armar el turbinef

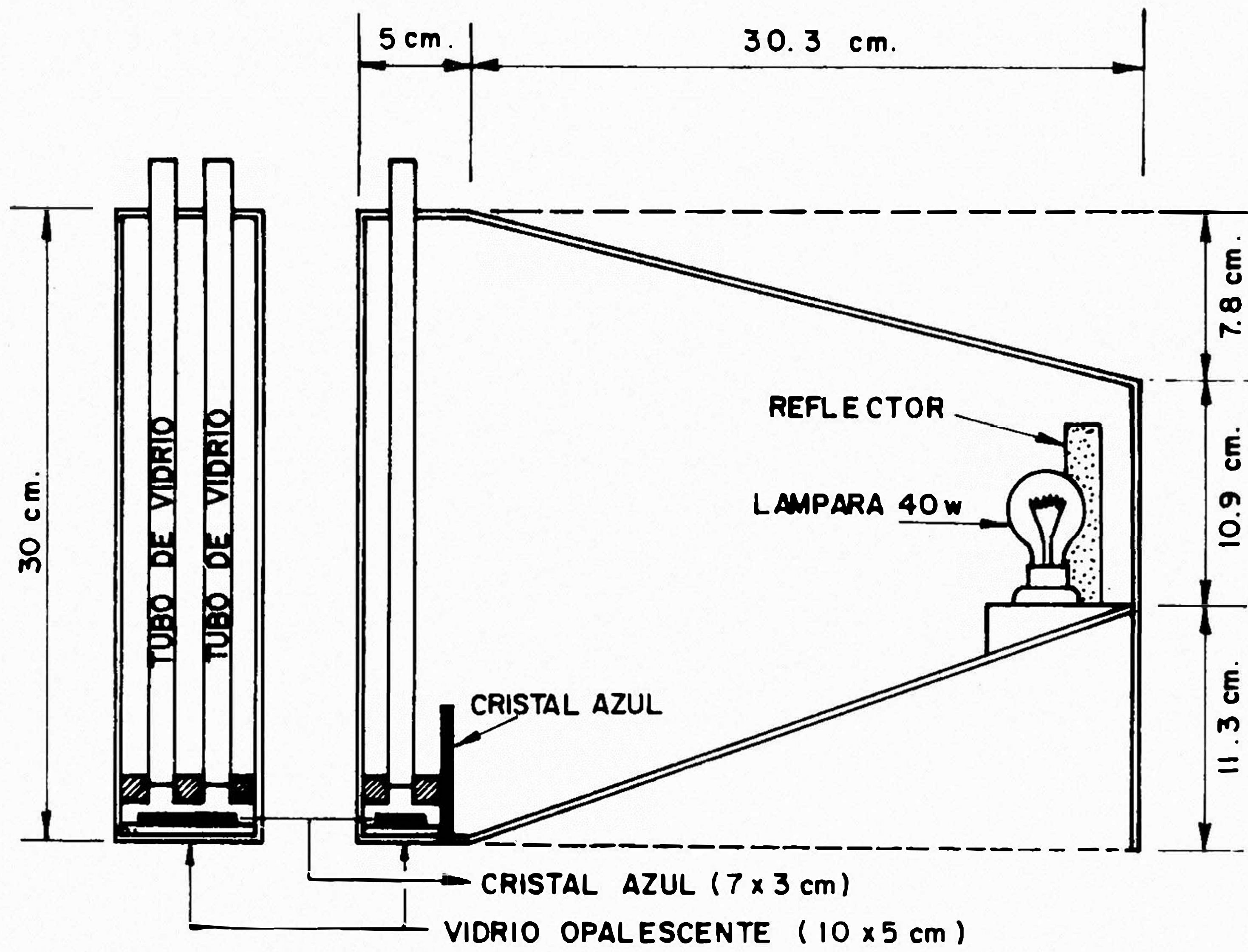


Figura 3 _ Detalles del armado del turbinef

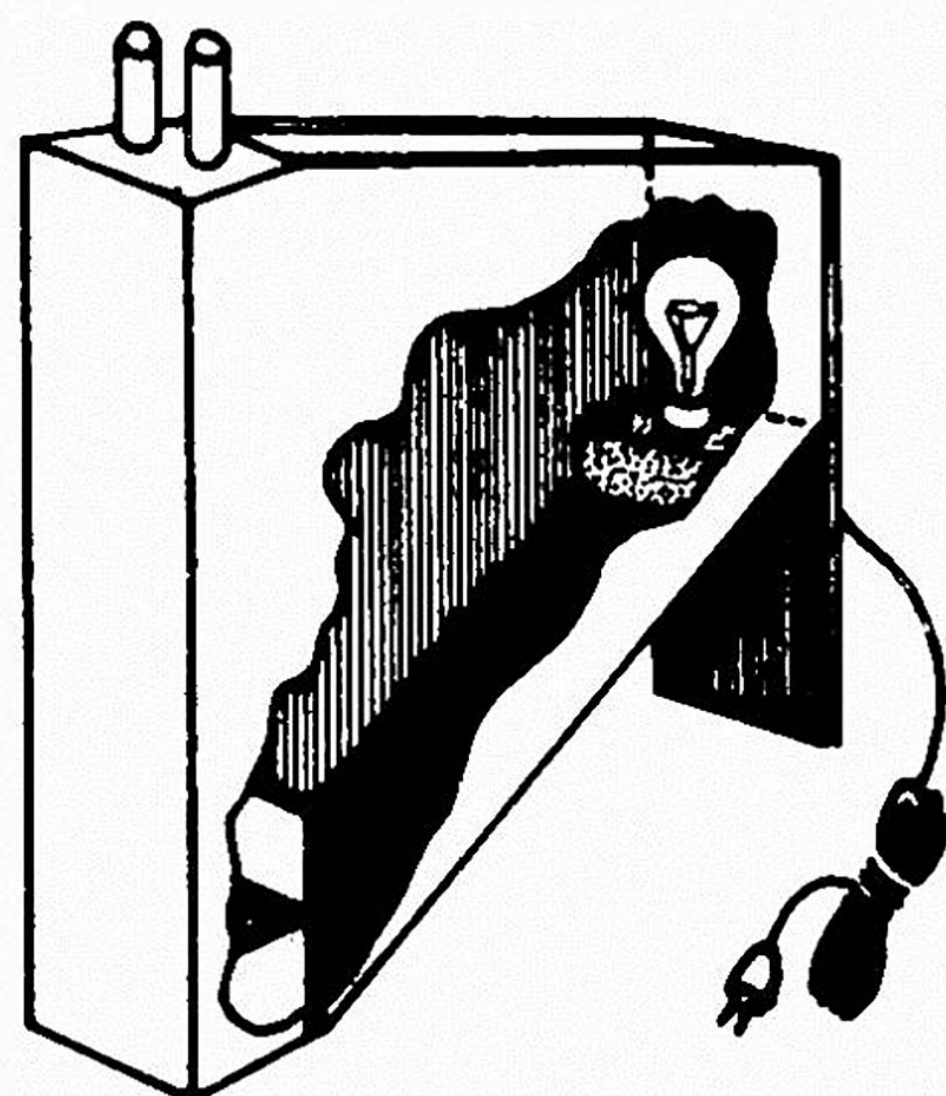


Figura 4 _ Vista del turbinef

CAPITULO III - Filtro Ascendente

1.- ANTECEDENTES

El primer documento del cual se tiene referencia sobre filtración de agua a través de arena en flujo ascendente data de 1685, cuando el médico italiano Porzio, publicó un esquema de un filtro múltiple. Este utilizaba filtros de arena divididos de tal manera que primero se filtraba el flujo descendente y luego ascendente. Estos filtros abajo-arriba eran operados en serie, cuyo número dependía de la calidad del efluente deseado.

La primera instalación municipal que se conoce fue Greenock, Escocia en 1827. Los filtros de Greenock eran filtros lentos de arena que podían ser empleados en flujo ascendente o descendente, el lavado se realizaba por flujo reverso.

En Pawtucket, R.I., un filtro ascendente fue construido en 1883, para remover el material grueso suspendido. El medio filtrante estaba constituido por grava graduada que variaba del tamaño de un huevo en el fondo al tamaño de un haba en la parte superior. En 1889 se construyó un filtro que contenía 18" de piedra graduada, 12" de labrillo y carbón partido y otras 18" de piedra graduada del tamaño de un haba en la parte superior.

Se reportó que estos filtros renovaban todo el material suspendido y más microorganismos. El promedio del trabajo del filtro durante el primer año fue de 3.2 gmp/pie² (192 m³/m²/día). El lavado era realizado mediante el drenaje del filtro y utilizando manguera en la superficie del lecho, este filtro operó hasta 1930.

Todos los primeros filtros de flujo ascendente que se construyeron, adolecían del mismo defecto, este era el diseño del lavado en contra flujo, pasando agua hacia abajo a través del medio filtrante. Este método de lavado de filtro no era efectivo ya que no se producía expansión del lecho y por lo tanto no producía fricción entre los gra

nos del medio, la materia que había penetrado profundamente dentro del medio no era completamente removida.

En Rusia entre los años 1953-1954, se ensayaron y desarrollaron filtros de flujo ascendente (Ming) y más tarde se instalaron en Moscú, Leningrado, Gorki, Kiev, etc. La versión rusa de los filtros ascendentes también conocidos como clarificadores de contacto, se utilizaban en aguas de baja turbiedad, menores de 150 ppm. Con los clarificadores de contacto, la coagulación y clarificación son combinadas en un solo proceso y la adición de coagulantes químicos de agua cruda se realiza antes de pasar a la unidad.

El agua se distribuye por un sistema de tuberías por la parte inferior y es recolectada por un costado en la superficie del lecho. El lavado consiste en pasar agua a través del medio en la misma dirección del flujo pero a una velocidad mucho mayor.

Las ventajas de los clarificadores de contacto sobre la floculación, sedimentación y filtración descendentes son:

- 1.- Reducción del tamaño de la planta y posible eliminación del pretratamiento.
- 2.- Reducción de productos químicos como consecuencia de que no se necesite formar un floc grande y fácilmente sedimentable.
- 3.- Filtración de grueso a fino con un medio filtrante, utilizando completamente toda la profundidad del lecho para remover impurezas, mejor que los pocos centímetros que se aprovechan en los filtros descendentes.
- 4.- Una reducción en la pérdida de carga durante la filtración, a

la vez de una remoción sustancial de la materia suspendida en porción gruesa del medio, donde la influencia de la pérdida de carga es menor.

El clarificador de contacto original, donde se realizaron las pruebas contenía arena y grava hasta una altura de 2.50 m. El incremento de la pérdida de carga durante la filtración fue baja.

Una publicación aparecida en 1955, indicaba que la tasa de diseño de estas unidades debía ser de 2 gpm/pie² (120m³/m²/día) con un máximo permisible de 3 gpm/pie² (180m³/m²/día). La tasa de lavado de 12.5 gpm/pie² (750m³/m²/día) era recomendada. Se indicaba que la planta de Leningrado estaba trabajando con una tasa de 7 gpm/pie² (420m³/m²/día) y con una profundidad de lecho de 8.5 pies (2.55m).

Lenchevsky sugiere que la tasa de filtración no sobrepase 2.5gpm / pie² (150m³/m²/día) con lo que se previene la expansión del lecho de arena con un TE. 0.55-0.65 mm y un CU. 2.5. La tasa de lavado debía ser de 19 a 22 gpm/pie² (1140-1320m³/m²/día) por 7-8 minutos. El objeto de añadir coagulantes inmediatamente antes del filtro es la formación de un micro flóculo dentro del lecho del filtro, donde se completa la floculación por contacto del floc con la superficie de los granos de arena. Especificando que la arena a usar no debe contener partículas mayores de 2mm ni menores de 0.55mm con un promedio de 0.9-1.1 mm. La profundidad del lecho de arena recomendada era 6.5 pies (1.95 m) sobre 14-16" (40 cm.) de grava.

Ives del University College de Londres, Director de Investigaciones sobre Filtración, realizó con Diaper, estudios en laboratorio en filtros-tubos, señalando que la filtración ascendente es más eficiente que la filtración descendente bajo las mismas condiciones de operación. La arena era graduada de 0.6 mm en la parte superior y de 1.20 mm en la parte inferior, la altura de arena fue de 47.5" (120

cm). Las tasas de filtración fueron 2 y 4 gpm/pie² (120-240m³/m²/día) para turbideces de 100-500 ppm. Las pruebas con el filtro fueron conducidas usando un disco perforado en la superficie del lecho para prevenir la expansión o fluidificación. La pérdida de carga era menor en el filtro ascendente que en el descendente para una misma carrera de filtración. La eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos fue menor con el filtro ascendente que con el descendente. El lavado del filtro ascendente era un problema y fue necesario usar aire comprimido para romper el medio compactado.

Teniendo en cuenta las investigaciones realizadas por otros autores, Hamann y Mc Kinney propusieron un estudio a escala de laboratorio sobre filtración ascendente, este estudio fue llevado a cabo por la Universidad de Kansas, en la planta de tratamiento de la ciudad de Lawrence. Se emplearon tubos de \emptyset 6" de plexiglass, como filtros ascendentes. El agua cruda era bombeada a la planta desde el río Kansas. El agua empleada en las pruebas contenía una alcalinidad total que variaba de 160-250 ppm. y un pH entre 7.3 y 8.2, la turbiedad variaba de 17-460 UJ, la temperatura del agua estaba entre 39°-58° F (3°-20°C). Se ensayaron tres profundidades de arena 2.4 y 6 pies. La arena usada en las experiencias fue la siguiente: TE 0.55 mm, tamaño promedio 0.9 mm, con un tamaño máximo 2.4 mm y como mínimo 0.42 mm con un CU 2.0 con 41% de porosidad. La arena estaba soportada por 12" de grava que descansaba sobre una placa perforada cerca del fondo del tubo.

La grava estaba graduada del fondo hacia arriba como sigue: 4" de 1/2" - 1/2", 4" de 3/8" - 1/2" y 4" de 3/16" - 3/8". Fueron empleados piezómetros de mercurio para medir la pérdida de carga y la turbiedad del agua cruda como la tratada fue medida mediante un turbidímetro calibrado marca Hellige.

Los resultados de las experiencias usando una profundidad de arena de 2 pies y sin utilizar ningún medio para prevenir la expansión fue relativamente proble.

La carrera terminaba cuando se producía una grieta en el lecho, o cuando un cortocircuito de flujo ocurría en la parte superior del lecho de arena, este fenómeno era caracterizado por la formación de una o más bolas de barro, resultando un incremento en el movimiento de arena y el escape por ruptura del lecho de los materiales previamente retenidos. La adición de 0.5 - 1.5 ppm de polímeros al agua cruda redujo la turbidez del efluente.

Al usar una rejilla de acero en la parte superior del lecho para evitar la fluidificación se encontró que las carreras eran más largas usando el sistema de rejilla, esta consistía en platinas verticales paralelas, 2" x 1/8", espaciadas 1" entre los centros que insertaba en el lecho a 2" o 3" de la superficie del lecho. Al estudiar el comportamiento del filtro para una profundidad de 4 pies, sin usar rejilla, se encontró que se obtenían bajas turbideces efluentes y muchos menos problemas que con el lecho de 2 pies. La carrera del filtro era todavía corta, 4 horas o menos y era terminada por fluidificación, la pérdida de carga terminal variaba de 1.2 - 4.0 pies. Cuando se empleó la rejilla a una tasa de 5 gpm/pie² (300m³/m²/día) dosificando 38 ppm de alúmina y 0.4 ppm de polímero, no se observaron mayores diferencias que con el lecho de 2 pies, sobre un período de 5 horas, el incremento de la pérdida de carga era de 2.3 - 4 pies o sea 1.7 pies.

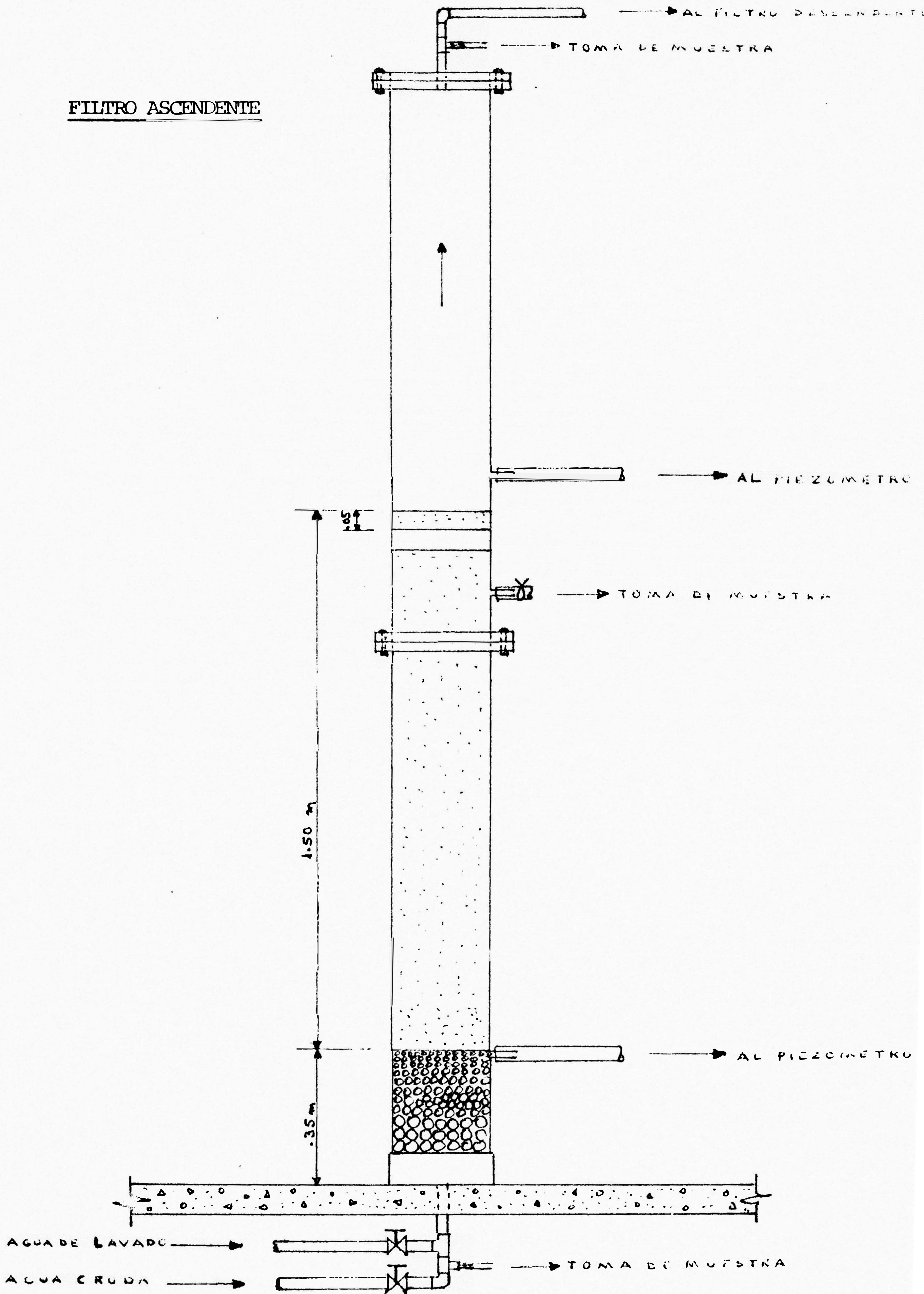
Cuando se ensayó el lecho de 6 pies de profundidad, sin rejilla a una tasa promedio 3.9 gpm/pie² (234m³/m²/día) con una dosis de alumbre de 79 ppm y 0.5 ppm de polímeros, se encontró que mantenía un efluente con una turbidez menor que 2.5 UJ para una turbidez efluente de 250 - 140 UJ, la carrera terminó luego de 4.5 horas al llegarse a una pérdida de carga terminal de 3.8 pies. Cuando se empleó la rejilla para una tasa de 4.3 gpm/pie² (258m³/m²/día) y una dosis de alumbre de 57 ppm y 0.5 ppm de polímero, para una turbidez de 96 - 33 UJ y 7 horas, se encontró una pérdida de carga terminal de 3.2 pies.

ORIGEN DE LA INVESTIG.	TASA DE FILTRAC. m ³ /m ² /dia	ALTURA DEL LECHO FILT. METROS	ALTU. GRAVA SOPORTE EN METROS	CARACTERISTICAS GRANULOMETRICAS		REJILLA	LAVADO FIL			COAG.	GRADO DE TRATAMIENTO
				TE mm	CU		TASA m ³ /m ² /dia	TIEMPO MIN.	AIRE COMP		
* LENCHEVSKY RUSIA 1959	150	2.40	0.35-0.40	0.55-0.65	2.5	NO	1140-1320	7'-8'	NO	SI	UNICO
* KANSAS UNIV. U.S.A. 1968	240	1.20-1.80	0.30	0.55	2.0	SI	1320	-	SI	SI	UNICO
+ COLANTINA BRASIL 1970	120-173	2.0	0.35	0.7	2.5	NO	1123-1296 Deficient	7'-8'	NO	SI	UNICO
# L'EAU CLAIRE TULANE UNIV. U.S.A. 1972	360	0.9 0.9	0.30	0.95 1.8	1.26 1.11	SI	10° C-960 32°C-1380	15'-20'	3 a 5 MIN	SI	UNICO
U.N.I. PERU 1979	120 150	1.5	0.30	0.85	2.0	SI	1270 1680	14' 12'	SI NO	NO	PREFILTRO

Referencias:

- (*) Upflow Filtration JAWWA Vol 60 - 9
- (+) NOVA TECNICA EN USO EN BRASIL 5to. Congreso de Ing. Sanitaria 1971
- (#) Upflow L'EAU CLAIRE - JAWWA Jan. 1974

FIG. III - 1



Para todos los casos se empleó una tasa de lavado de 22gpm/pie^2 ($1320\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$) que resultó inadecuada, la remoción de sólidos de la parte baja del lecho no era completa. Al aplicar aire comprimido con agua, se obtuvieron mejores resultados.

2.- CARACTERÍSTICAS GENERALES

2.1 Granulometría

Para escoger el tamaño de arena a ser utilizada en el filtro ascendente revisamos las características granulométricas de las arenas utilizadas en otros trabajos, no perdiendo de vista nuestro objetivo de utilizar este filtro como pre-filtro o acondicionador del agua para la filtración descendente.

Decidimos utilizar arena con un TE. 0.85 mm. y con un CU. 2, con un tamaño mínimo de arena de 0.55 mm y un tamaño máximo de 2.38 mm; para preparar la arena requerida se utilizó una mezcla de arenas clasificadas en la planta de agua de Lima. El procedimiento seguido se detalla a continuación:

- Se graficó en papel logarítmico de probabilidad, la recta con un TE = 0.85 mm. y un CU = 2 y a partir de este gráfico se hallaron los porcentajes de arena requeridos según cada malla, esto traducido a peso nos daba el peso de arena de una malla determinada. (Gráfico III - 2-1).
- Se graficaron las curvas granulométricas de las arenas clasificadas en la planta de la Atarjea y de la arena recogida en la playa de La Herradura que previamente fue lavada durante 24 horas y luego secada a 105°C . (Cuadro III - 2-1). De las curvas granulométricas observábamos cuales eran las arenas

0.01
0.005
0.01
0.02
0.05
0.1
0.5
1
2
5
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

MALLA
Ø M.M.

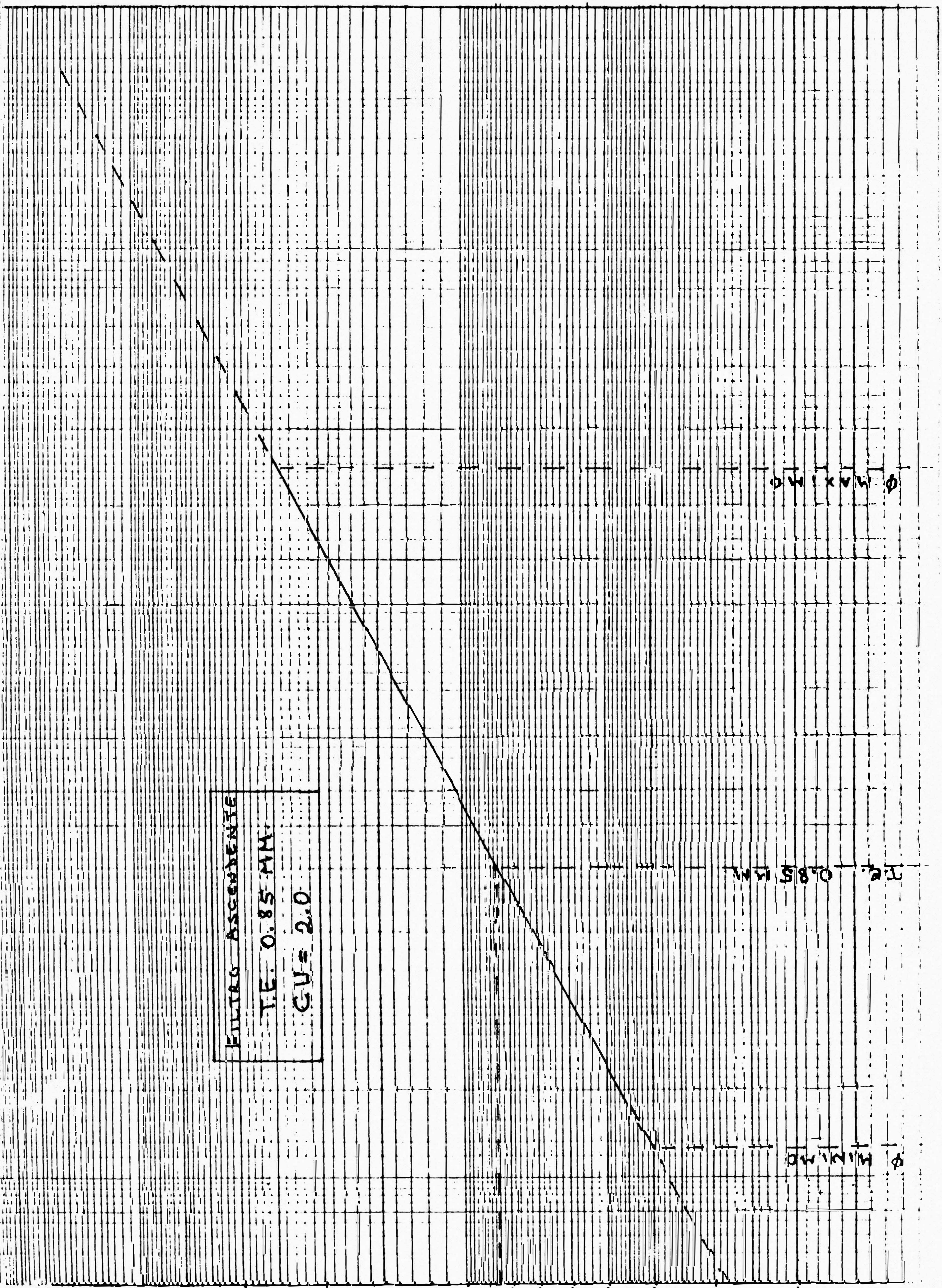
FILTRO ASCENDENTE
T.E. 0.85 MM.
C.V. = 2.0

8
12
16
20
30
40
50
70
100

Ø MINIMO

T.E. 0.85 MM.

Ø MAXIMO



CUADRO III - 2-1

SELECCION DE ARENA REQUERIDA

MALLA	ABERTURA mm	% ACUMULADO QUE PASA				ARENA REQUERIDA TE:0.85 CU=2
		ARENA DE LA ATARJEA			ARENA HERRADURA	
		ARENA GRUESA TE:1.5mm CU=1.2	ARENA MEDIA TE:0.87mm CU=1.37	ARENA FINA TE:0.85 CU=1.17	ARENA MUY FINA TE:0.245 CU=2	
8	2.380	92.6	100	99.9	100	83.5
12	1.679	27.8	99.9	99.6	100	68.0
16	1.191	3.2	64.7	97.6	100	29.5
20	0.841	0.5	8.7	7.9	98.43	9.5
30	0.595	0.1	0.6	1.8	78.25	1.85
40	0.420	0.0	0.2	1.4	33.09	-.--
50	0.297	-.--	0.1	1.2	77.65	-.--
70	0.210	-.--	-.--	1.0	-.--	-.--
100	0.147	-.--	-.--	0.8	0.89	-.--
140	0.104	-.--	-.--	0.6	0.29	-.--

que tenían un mayor porcentaje de determinado tamaño de malla.

- Así se tamizaron las arenas y se separaron por mallas hasta completar el peso requerido de cada malla, luego se mezclaron las arenas separadas y se reconstruyó la curva deseada.

La arena se colocó sobre un lecho graduado de grava distribuido en la siguiente forma:

<u>TAMAÑO DE GRAVA</u>	<u>ESPESOR DE LA CAPA</u>
3 - 6 mm.	7.5 cm.
6 - 12 mm.	7.5 cm.
12 - 25 mm.	12.5 cm.
25 - 30 mm.	<u>7.5 cm.</u>
	TOTAL: 35.0 cm.
	<u><u> </u></u>

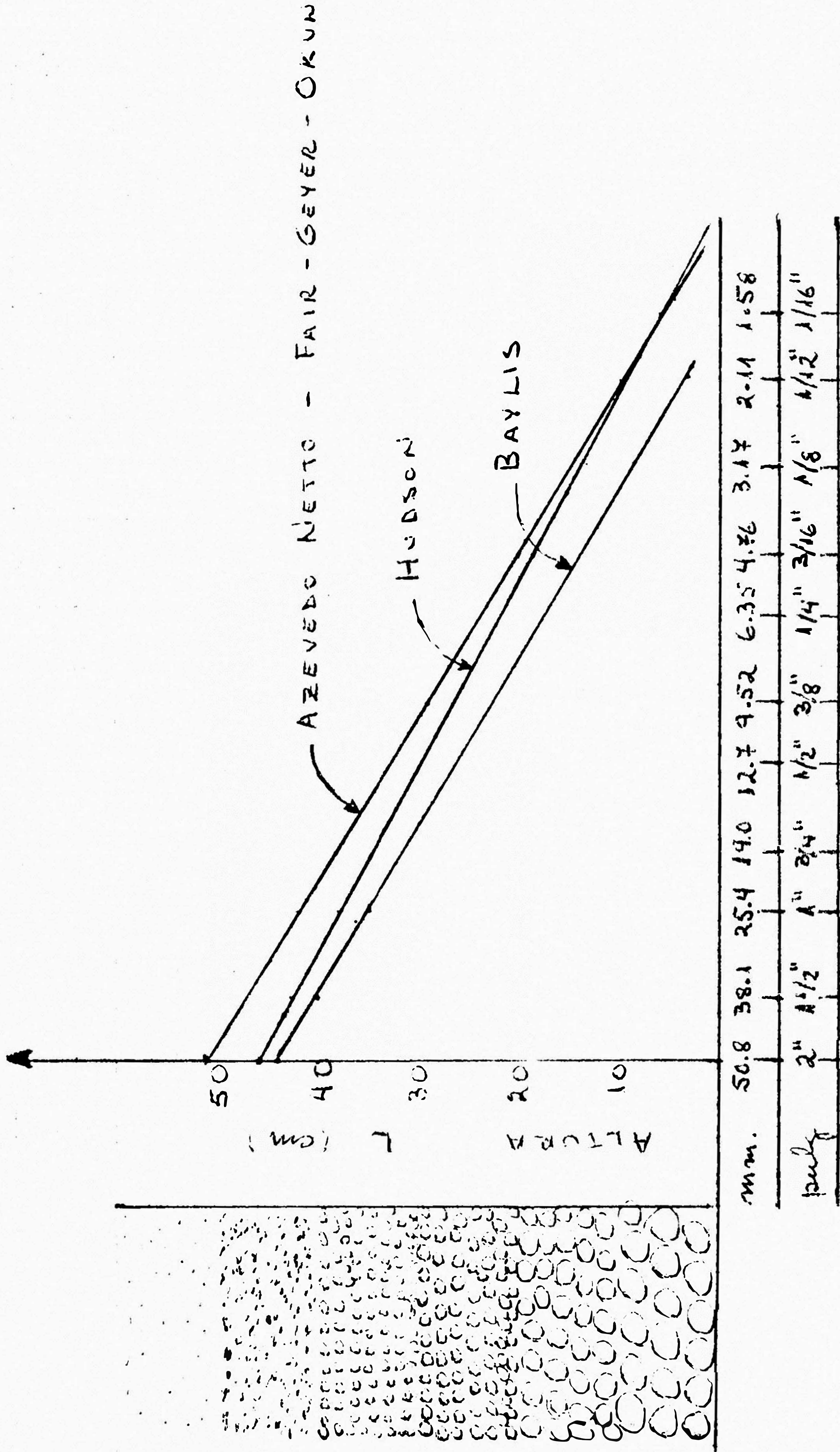
Para calcular los espesores de grava consecutivas se utilizó una de las siguientes fórmulas empíricas (*).

CUADRO III - 2-2

AUTOR	FORMULA	UNIDADES
(*) Azevedo Netto	$L=300 \log d$	L=Espesor en mm
Fair-Geyer-Okun	$L=300 (\log d + 1.4)$ $10 = K = 14$	L=pulg d=pulg
Baylis	$L=11.63 \log d - 2.5$	d=mm L=pulg
Hudson	$L = 10.6 \log d$	d=mm L=pulg

GRAFICO III - 2-2

ALTURA DE GRAVA SOPORTE RECOMENDADA



DIAMETRO DE LA GRAVA

2.2 Altura del lecho

Con el objeto de hallar la altura del lecho adecuada para la operación del filtro, se realizaron una serie de pruebas preliminares con una altura de medio filtrante de 1.20 m; sin ningún sistema para prevenir la fluidificación, por lo que se observó que a una tasa de filtración de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ los 30 cm. superiores del lecho se encontraban fluidificados, reduciendo así la altura útil filtrante. Cuando se le colocó una rejilla (figura III - 2) se observó que la tasa de $210 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ se fluidificaban los 15 cm. superiores de lecho; por lo que se decidió aumentar la altura del medio a 1.50 m y a utilizar rejilla para evitar la fluidificación a una tasa de $240 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$. No se incrementó mucho mas la altura del medio ya que haría mas difícil el lavado de la unidad. Otro motivo para no aumentar la altura de lecho fue que el diseño está regulado por el filtro descendente, es decir, que al aumentar la altura del lecho se aumenta la capacidad de retener las partículas y la longitud de la carrera del filtro ascendente y si la carrera del filtro descendente es menor, no se estaría optimizando el diseño. Por otro lado, comparando la altura elegida para nuestro filtro ascendente con experiencias realizadas anteriormente (Cuadro III 1) vemos que es mucho menor que las recomendadas, esto se debe a que nuestro objetivo es que trabaje con prefiltro y sin coagulante y no como filtro terminal.

3.- TASAS DE APLICACION, PERDIDA DE CARGA Y TASAS DE LAVADO

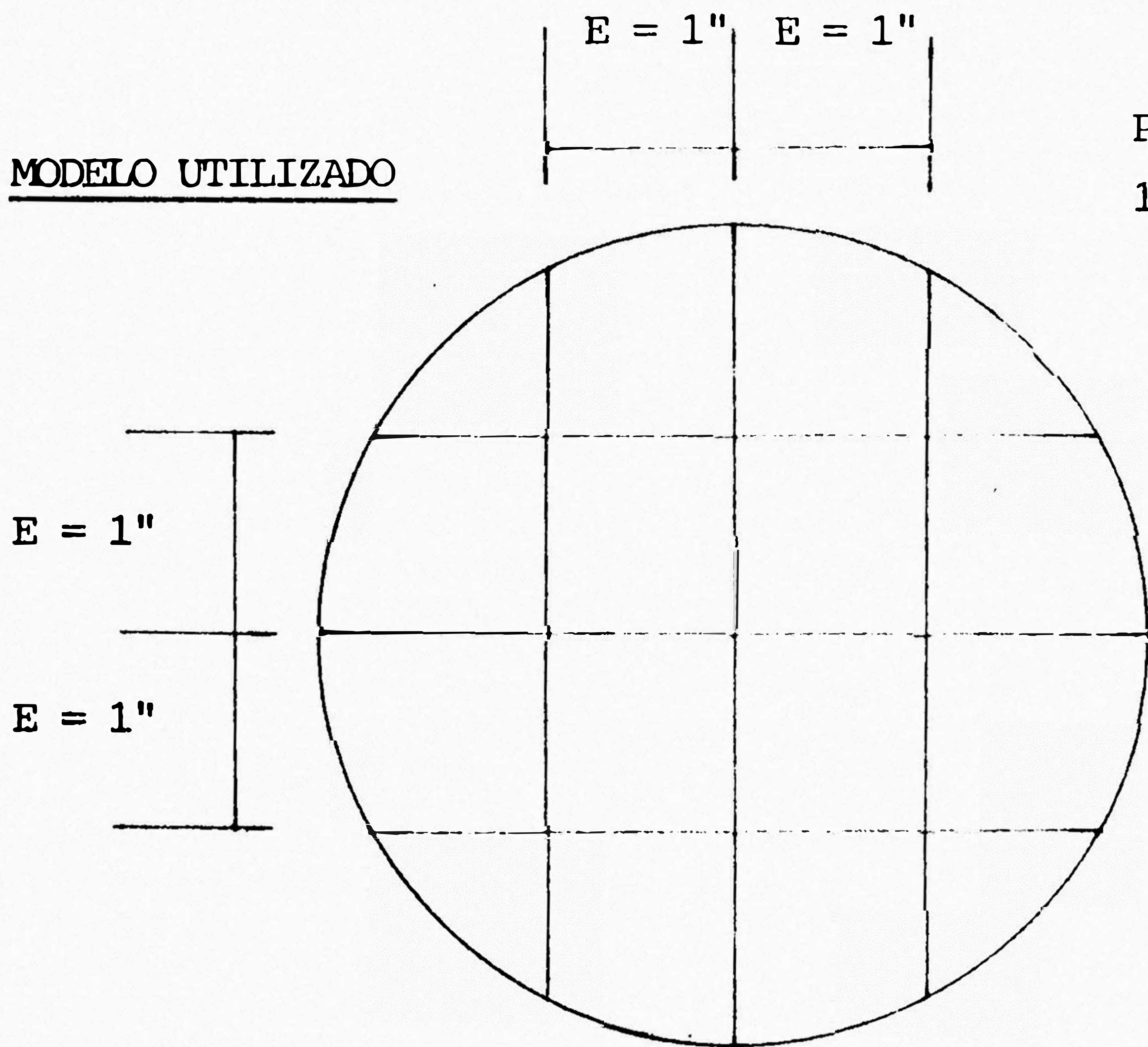
3.1 Tasa de Aplicación

Con el objeto de encontrar la tasa de filtración mas eficaz para la unidad ascendente, nos vimos precisados a barrer con una amplia gama de tasas de filtración tales como: 300, 240, 210,

FIG. III - 2

REJILLA DEL FILTRO ASCENDENTE

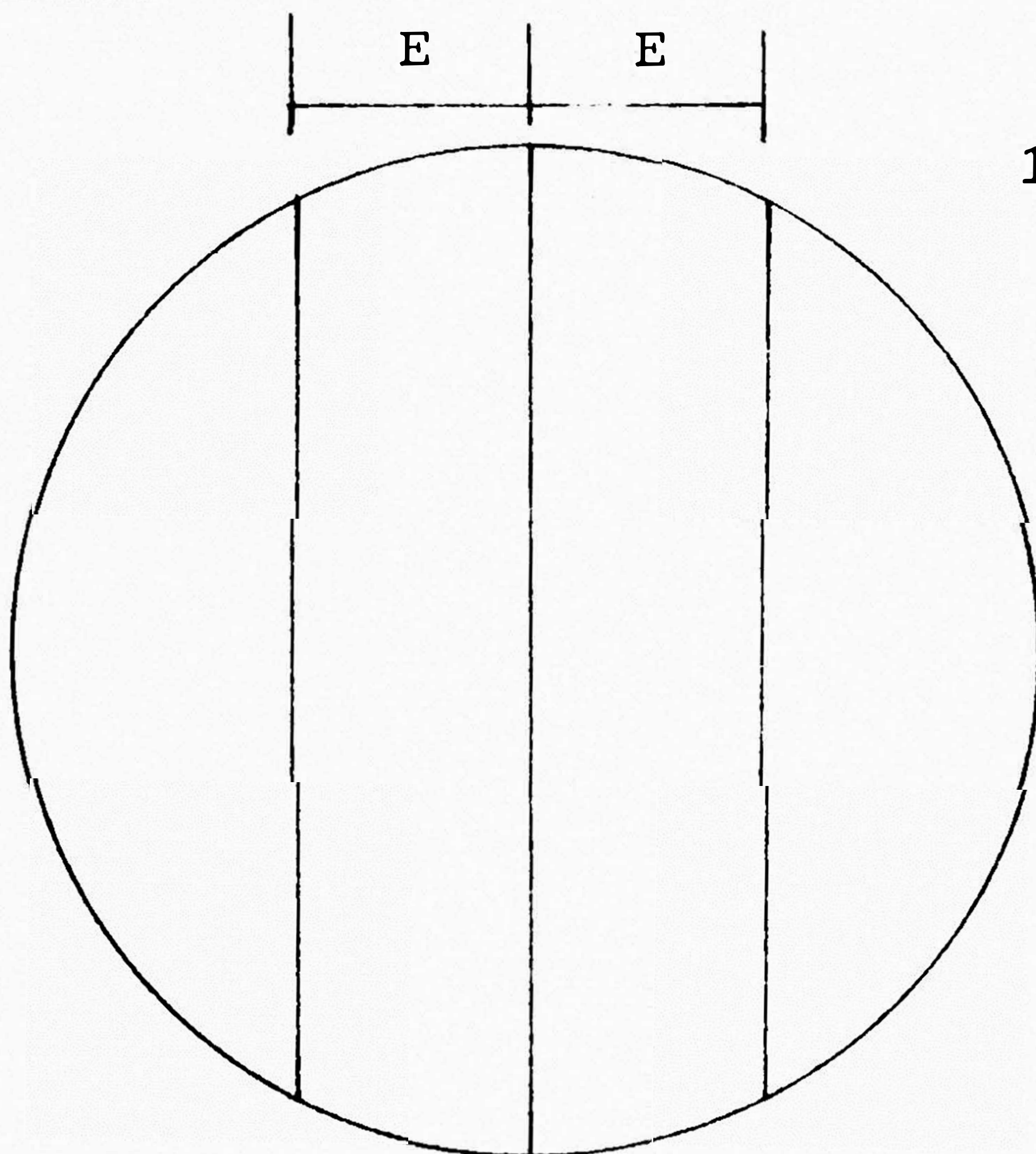
MODELO UTILIZADO



PLATINA DE ACERO
1/8" x 1 1/4"

E = Entre 100 y 150 veces el diámetro de la arena mas fina.

MODELO RECOMENDADO



$$100 d \leq E \leq 150 d$$

Las barras serán de un solo sentido para facilitar la limpieza por expansión.

FIG. III - 3

DISTRIBUCION DE LA PERMEABILIDAD Y LA PERDIDA DE CARGA EN EL LECHO

LECHO ESTRATIFICADO

LECHO NO ESTRATIFICADO

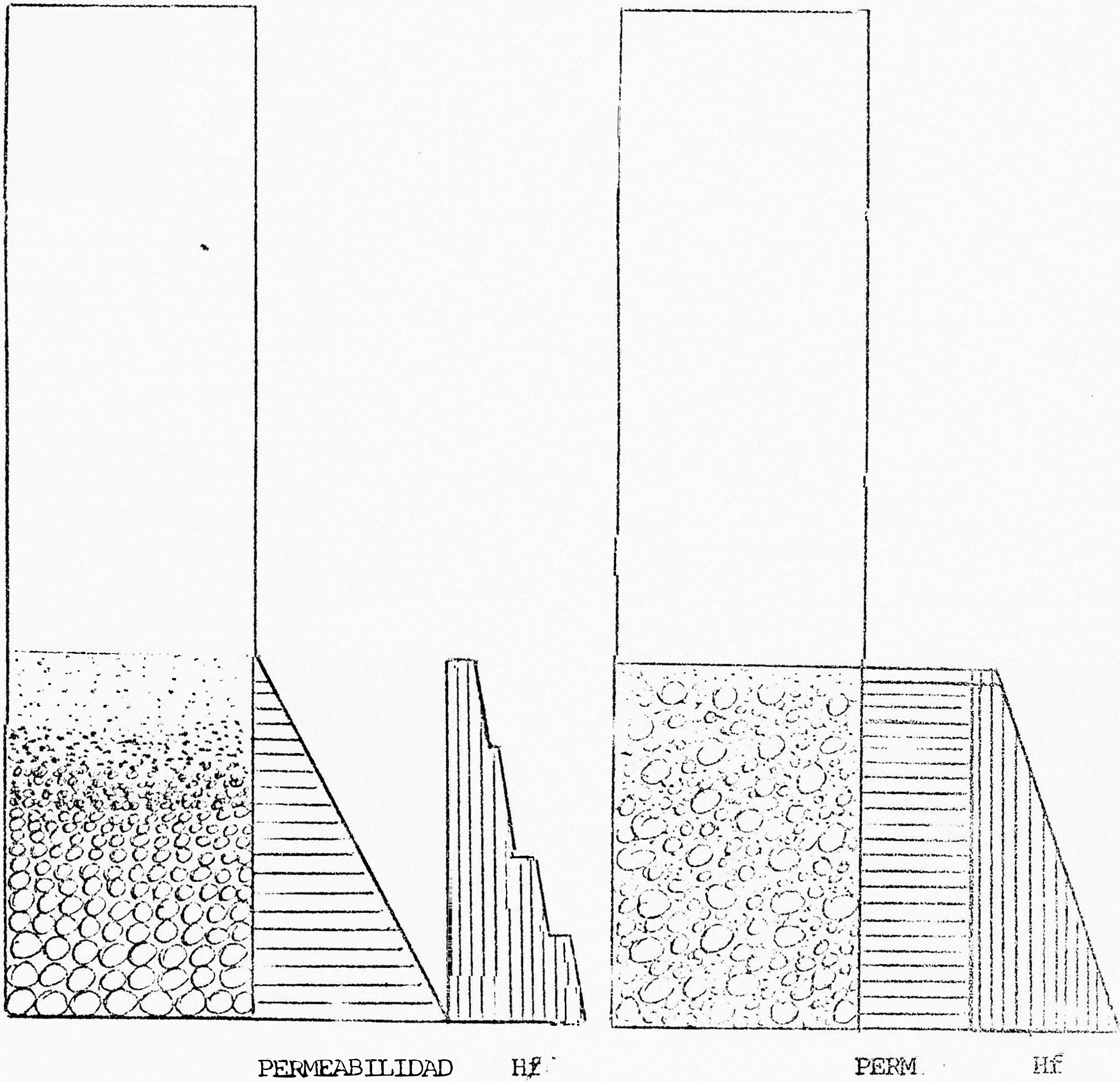
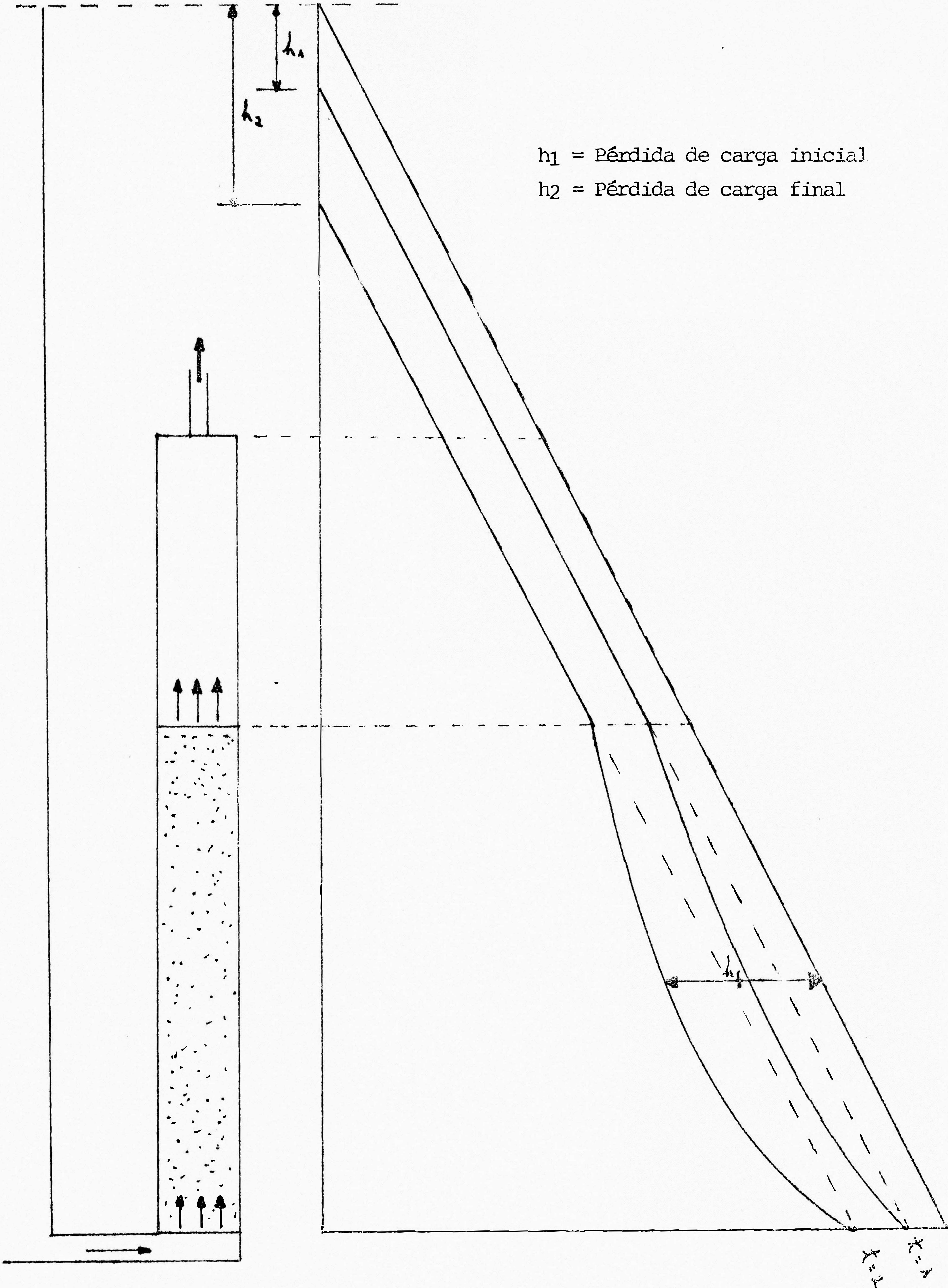


DIAGRAMA DE PRESIONES Y PERDIDA DE CARGA



180, 150 y 120 m³/m²/día; ya que no se contaba con algún trabajo previo que pudiese orientarse, puesto que todas las referencias mencionan el empleo de coagulantes.

Tres series de carreras se realizaron, de las cuales las dos primeras nos sirvieron de indicador de las tasas mas convenientes por su porcentaje de remoción de turbidez y en la tercera serie se comprobaron los resultados.

De acuerdo a las pruebas, la tasa de aplicación optima, es decir la que produce una mejor remoción contra el tiempo se encuentra entre 180 m³/m²/día y 120 m³/m²/día, siendo el promedio de 150 m³/m²/día para las características del agua ensayada.

3.2 Pérdida de Carga

La pérdida de carga característica de estos filtros, como se encuentra en los gráficos siguientes, mantienen una pendiente casi constante en toda la carrera, a diferencia de los filtros descendentes que tienen una pérdida de carga en cuyo gráfico la pendiente es constante hasta que llega a un punto donde se dispara rápidamente. En todas las pruebas la pérdida de carga terminal en el filtro ha sido pequeña, ya que las carreras se detenían por irrupción de turbidez, este efecto se debía a que al disminuir de diámetro los pequeños poros que contiene el medio filtrante, la velocidad del agua dentro de ellos aumentaba, es decir, incrementaban las fuerzas cortantes hidráulicas que arrastran las partículas retenidas a las capas superiores del medio, hasta que se rompe el equilibrio entre los sólidos depositados y escapan en el efluente, sin llegar a la pérdida de carga final permitida, a diferencia de cuando se utilizan coagulantes y se forman pequeños flocs dentro del lecho que se mantienen ligados por los mecanismos de adherencia, lo que permite aumentar la capacidad de retención de partículas en el lecho, es decir, una mayor eficiencia en la remoción de partículas.

PRIMERA SERIEFILTRO ASCENDENTECARRERA 1 - 1

Fecha : 15.09.79

pH : 7.6

Tasa : 300 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	Hf		TIEMPO
Afluente	Efluente			Hg.	H ₂ O	
147	30	79.6	9:30	3.4	46.24	0:00
145	25	83.0	10:30	3.8	51.68	1:00
148	17	88.5	11:30	3.8	51.68	2:00
158	23	85.4	12:30	3.8	51.68	3:00
146	14	90.4	13:30	3.8	51.68	4:00
128	15	88.3	14:30	4.0	54.4	5:00
122	9	92.6	15:30	4.5	61.2	6:00
142	15	89.4	16:30	4.5	61.2	7:00
199	20	89.9	17:30	4.6	62.56	8:00
140	18	87.1	18:30	4.9	66.64	9:00
180	82	45.5	19:30	4.9	66.64	10:00

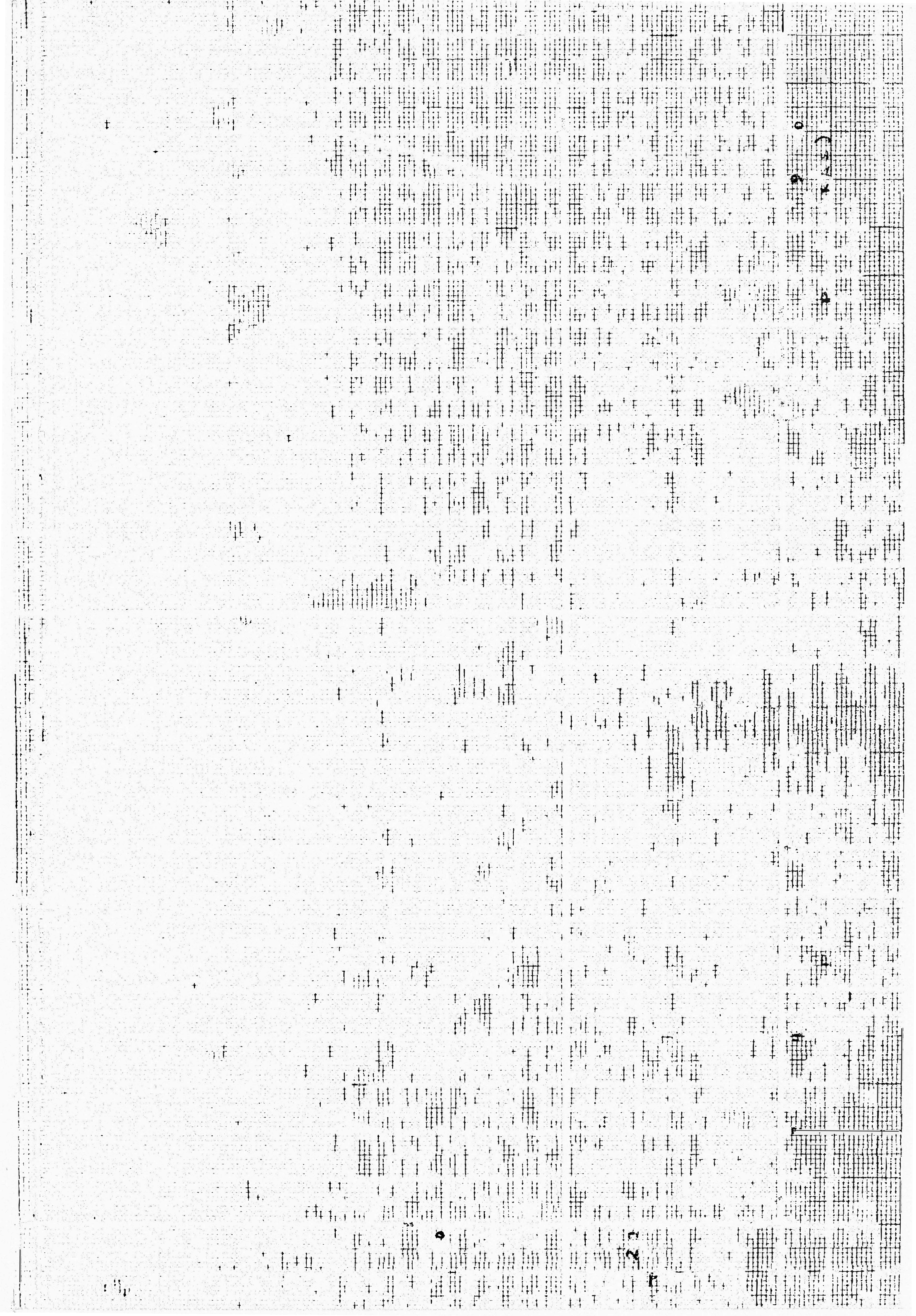
CARRERA 1 - 2

Fecha : 20.09.79

pH : 7.6

Tasa : 240 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	Hf		TIEMPO
Afluente	Efluente			Hg.	H ₂ O	
147	15	89.8	9:00	1.5	20.4	0:00
125	22	82.4	10:00	1.6	21.76	1:00
132	15	89.6	11:00	1.7	23.12	2:00
265	35	86.8	12:00	1.8	24.48	3:00
310	48	84.5	13:00	1.9	25.84	4:00
325	70	78.5	14:00	2.1	28.56	5:00
120	30	75.0	15:00	2.1	28.56	6:00
128	30	76.6	16:00	2.1	28.56	7:00
130	15	88.5	17:00	2.2	29.92	8:00
150	25	83.3	18:00	2.2	29.92	9:00
140	25	82.1	19:00	2.2	29.92	10:00



CARRERA 1 - 3

Fecha : 29.09.79

pH : 7.8

Tasa : 300 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	Hf		TIEMPO
Afluente	Efluente			Hg.	H ₂ O	
230	62	73.0	10:30	4.5	61.2	0:00
146	30	79.4	11:30	4.6	62.56	1:00
146	27	81.5	12:30	4.7	63.92	2:00
138	24	82.6	13:30	4.8	65.28	3:00
188	23	87.8	14:30	5.1	69.36	4:00
149	25	83.2	15:30	5.2	70.72	5:00
112	15	86.6	16:30	5.3	72.08	6:00
138	10	92.7	17:30	5.5	74.80	7:00
158	15	90.5	18:30	5.6	76.16	8:00

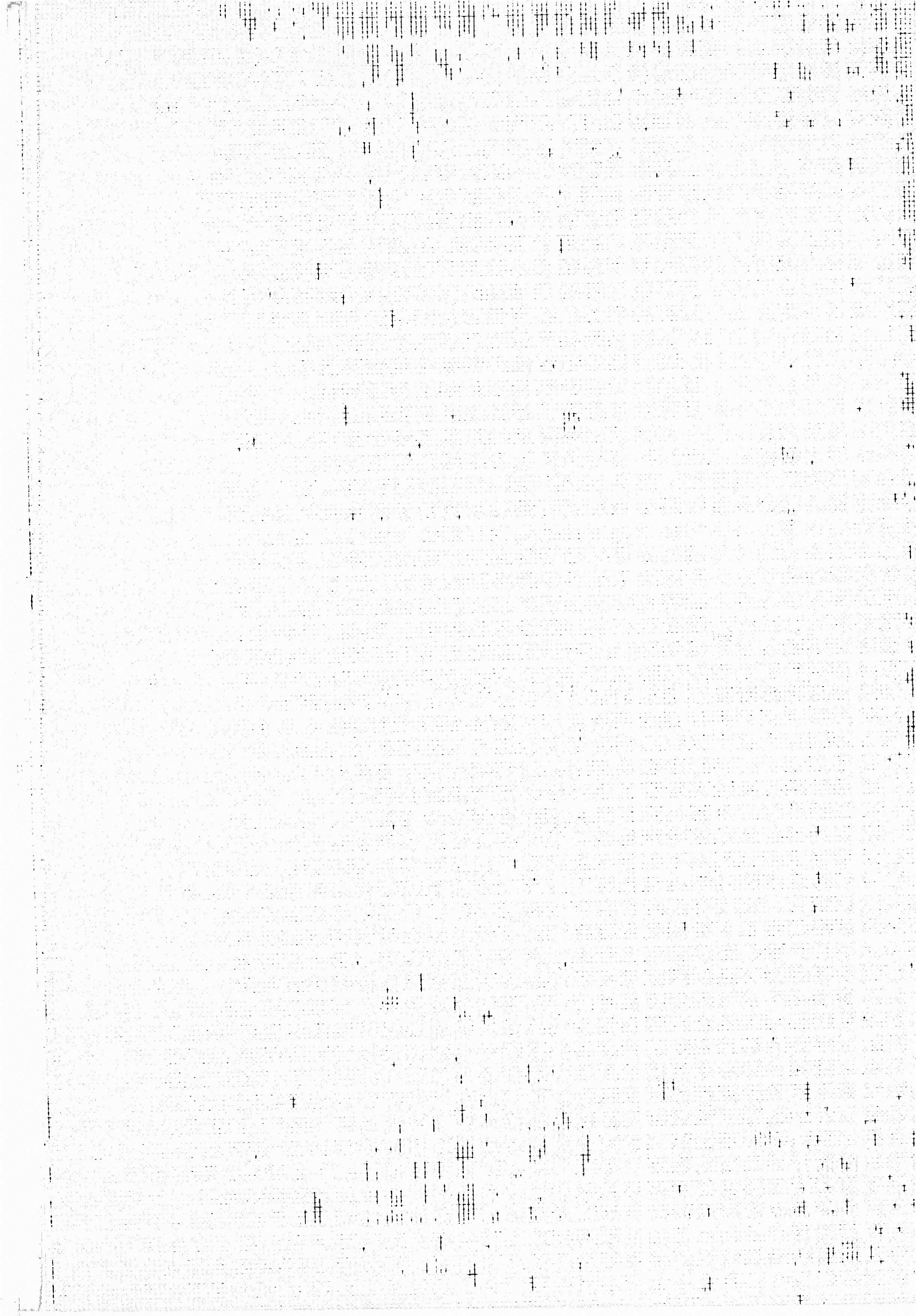
CARRERA 1 - 4

Fecha : 06.10.79

pH : 7.7

Tasa : 240 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	Hf		TIEMPO
Afluente	Efluente			Hg.	H ₂ O	
125	25	80.0	10:30	3.8	51.68	0:00
138	17	87.7	11:30	4.0	54.4	1:00
150	25	83.3	12:30	4.0	54.4	2:00
196	32	83.7	13:30	4.5	61.2	3:00
174	17	90.2	14:30	4.5	61.2	4:00
180	22	87.8	15:30	4.6	62.56	5:00
140	21	85.0	16:30	4.6	62.56	6:00
175	20	88.6	17:30	4.6	62.56	7:00
195	17	91.3	18:30	4.6	62.56	8:00
195	28	85.6	19:30	4.7	62.56	9:00



CARRERA 1 - 5

Fecha : 15.10.79

pH : 7.7

Tasa : 210 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	Hf		TIEMPO
Afluente	Efluente			Hg.	H ₂ O	
197	22	88.8	9:00	1.4	19.04	0:00
13	19	85.5	10:00	1.5	20.4	1:00
11	19	83.6	11:00	1.5	20.4	2:00
155	15	90.3	12:00	1.5	20.4	3:00
148	13	91.2	13:00	1.7	23.12	4:00
132	8	93.9	14:00	1.7	23.12	5:00
140	19	86.4	15:00	1.7	23.12	6:00
150	10	93.3	16:00	1.7	23.12	7:00
155	85	45.0	16:10	1.6	21.76	7:10

CARRERA 1 - 6

Fecha : 20.10.79

pH : 7.6

Tasa : 190 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	Hf		TIEMPO
Afluente	Efluente			Hg.	H ₂ O	
225	24	89.3	9:00	1.2	16.32	0:00
160	18	88.7	10:00	1.2	16.32	1:00
171	18	89.5	11:00	1.3	17.68	2:00
220	22	90.0	12:00	1.3	17.68	3:00
240	27	88.7	13:00	1.3	17.68	4:00
242	38	84.3	14:00	1.4	19.04	5:00
248	55	77.8	15:00	1.4	19.04	6:00
175	20	88.6	16:00	1.4	19.04	7:00
148	17	88.5	17:00	1.4	19.04	8:00

246

0 30 1 2 3 4 5 6

(0.11 0.12 0.13 0.14 0.15 0.16 0.17 0.18 0.19 0.20)

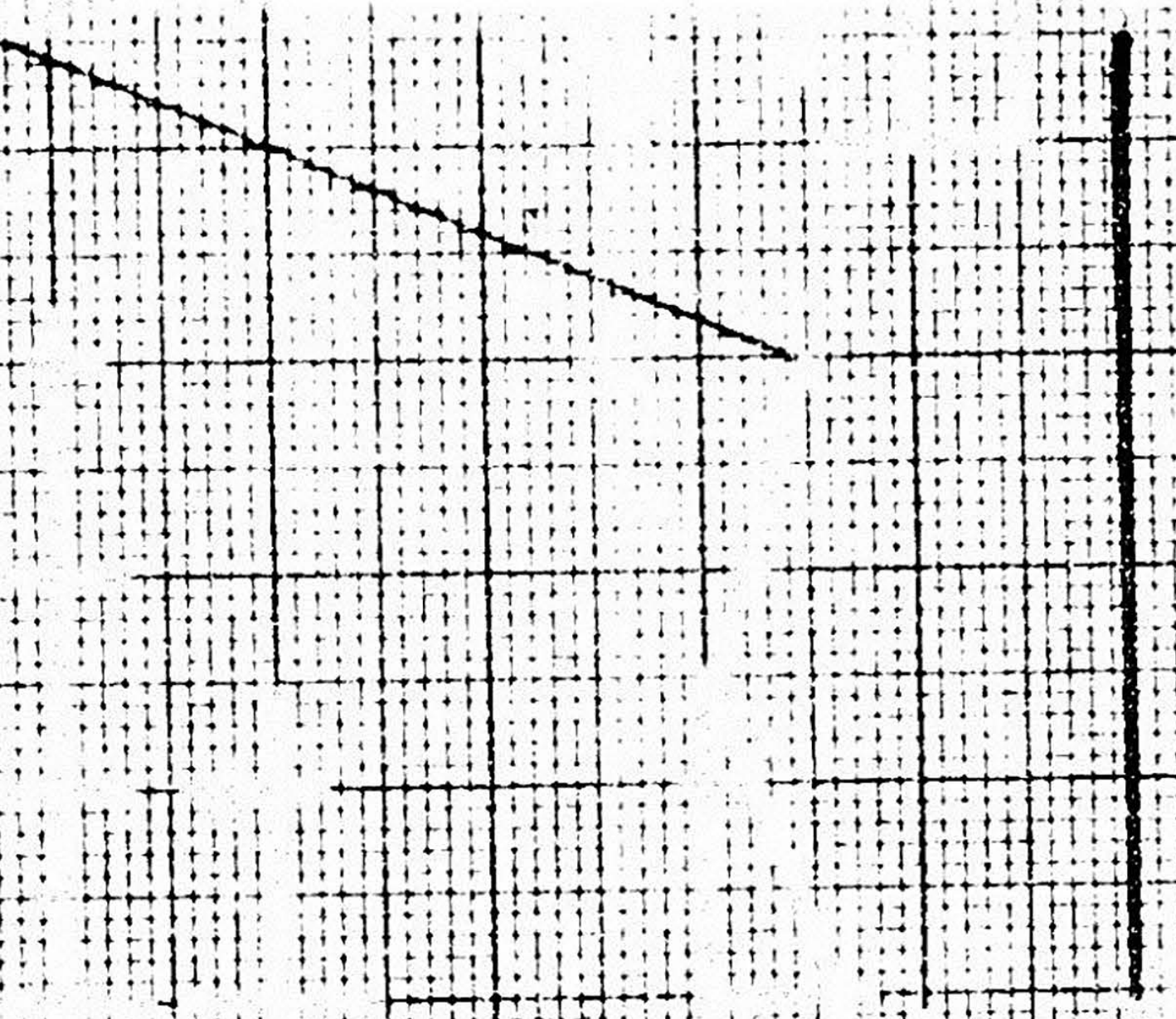
3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

IN HOURS

HOURS

FILE NO.

NOTE



Fecha : 30.10.79

pH : 7.72

Tasa : 200 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	Hf		TIEMPO
Afluente	Efluente			Hg.	H ₂ O	
262	28	89.3	10:30	3.2	43.52	0:00
295	16	94.6	11:30	3.2	43.52	1:00
260	19	92.7	12:30	3.3	44.88	2:00
228	12	94.7	14:00	3.0	40.80	3:30
365	20	94.5	15:00	3.2	43.2	4:30
215	5.5	97.4	16:00	3.3	44.88	5:30
195	7.5	96.1	17:00	3.4	46.24	6:30
172	5.5	96.8	18:00	3.5	47.6	7:30

TURBIDIDAD (U.L.)

400
300
200
100
80
60
40
20
0

ÁFLUENTE

CARRERA 1-7
30/10/79
200 m³/m²-dia

ÁFLUENTE

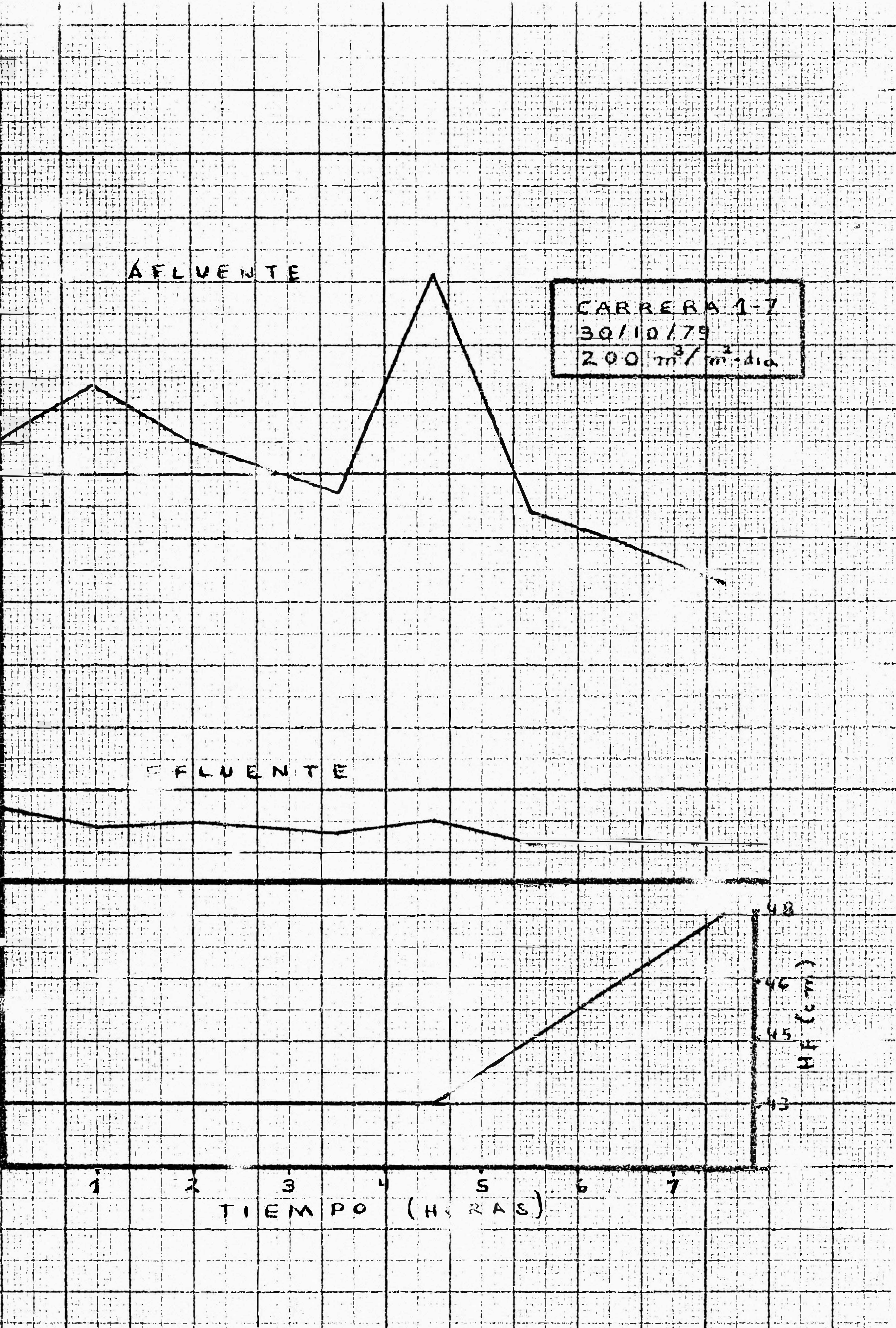
H_f (cm)

3.5
3.4
3.3
3.2

H_f (cm)

3.8
3.6
3.5
3.3

1 2 3 4 5 6 7
TIEMPO (HORAS)



SEGUNDA SERIEFILTRO ASCENDENTECARRERA 2 - 1

Fecha : 08.11.79

pH : 7.96

Tasa : 300 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	Hf		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
129	85	34.1	3:30	0:00	4.2	57.1	21°
115	38	66.9	5:30	2:00	4.4	59.8	21°
130	41	68.5	7:30	4:00	4.7	63.9	20°
115	30	73.9	9:30	6:00	5.0	68.0	20°
110	36	67.4	11:30	8:00	5.5	72.8	19°
115	30	73.9	13:30	10:00	5.6	74.8	19°
165	40	75.7	15:30	12:00	5.7	77.5	19°
147	40	72.8	17:30	14:00	5.8	78.8	19°
215	51	76.3	18:30	15:00	6.0	81.6	19°
165	43	73.9	19:30	16:00	6.1	83.0	19°

CARRERA 2 - 2

Fecha : 20.11.79

pH : 7.7

Tasa : 240 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	Hf		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
212	69	67.4	2:00	0:00	3.7	50.3	19°
95	28	70.5	4:00	2:00	3.8	51.7	18°
200	19	90.5	6:00	4:00	3.9	53.0	19°
110	9.5	91.4	8:00	6:00	4.0	54.4	20°
161	28	82.6	10:00	8:00	4.2	57.1	22°
262	57	78.2	12:00	10:00	4.3	58.5	22°
205	34	83.2	15:00	13:00	4.6	62.6	22°
225	20	91.1	17:00	15:00	5.0	68.0	22°
153	30	80.4	18:30	16:30	5.4	72.0	22°

7 0 6

25

25

16

5

Fecha : 29.11.79

pH : 7.8

Tasa : 210 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	Hf		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
105	33	68.6	10:00	0:00	3.3	45.0	21.5°
100	22	78.0	12:00	2:00	3.35	45.5	22.0°
109	9	91.7	14:00	4:00	3.4	46.2	22.5°
140	12	91.4	16:00	6:00	3.45	47.0	22.0°
150	12	92.0	17:20	7:20	3.6	49.0	21.0°
160	13	92.0	18:00	8:00	3.7	50.3	21.0°
140	7	95.0	20:00	10:00	3.9	53.0	21.0°
120	4.75	96.0	22:00	12:00	4.0	54.4	20.0°
120	7	94.0	24:00	14:00	4.2	57.1	19.0°
208	18	91.3	2:00	16:00	4.25	58.0	19.0°
207	45	78.3	4:00	18:00	4.30	58.5	19.0°

Fecha : 03.12.79

pH : 7.9

Tasa : 180 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	Hf		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
167	22	86.8	12:00	0:00	2.3	31.3	24.5°
207	35	83.1	14:00	2:00	2.5	34.0	24.5°
131	12	90.8	16:00	4:00	2.6	35.4	24.5°
134	10	92.5	18:00	6:00	3.0	40.8	22.0°
131	10	92.4	20:00	8:00	3.1	42.2	20.0°
170	7	95.9	22:00	10:00	3.3	44.9	20.0°
185	16	91.3	24:00	12:00	3.4	46.2	20.0
130	16	87.7	2:30	14:30	4.0	54.4	19.5
129	25	80.6	3:45	15:45	4.1	55.8	19.0
155	20	87.1	6:00	18:45	4.15	56.4	19.0
114	15	86.8	8:30	20:30	4.20	57.1	21.0°
118	10	91.5	10:30	22:30	4.25	57.8	22.0°
130	9.5	92.7	12:00	24:00	4.30	58.5	24.5°
90	5	94.4	14:00	26:00	4.35	59.2	24.5°
	5	87.5	16:00	28:00	4.45	60.5	23.0°
138	12	91.3	18:00	30:00	4.6	62.6	22.5°
138	135	2.1	21:00	33:00	4.8	65.3	20.0°

REVISION 2-3

A U T

N 10 14 16 18

CARRERA 2-4
 3/12/79
 180 m³/m²-día

TURBIDEIDAD (U.J.)

200
 150
 100
 50
 25

AFLUENTE

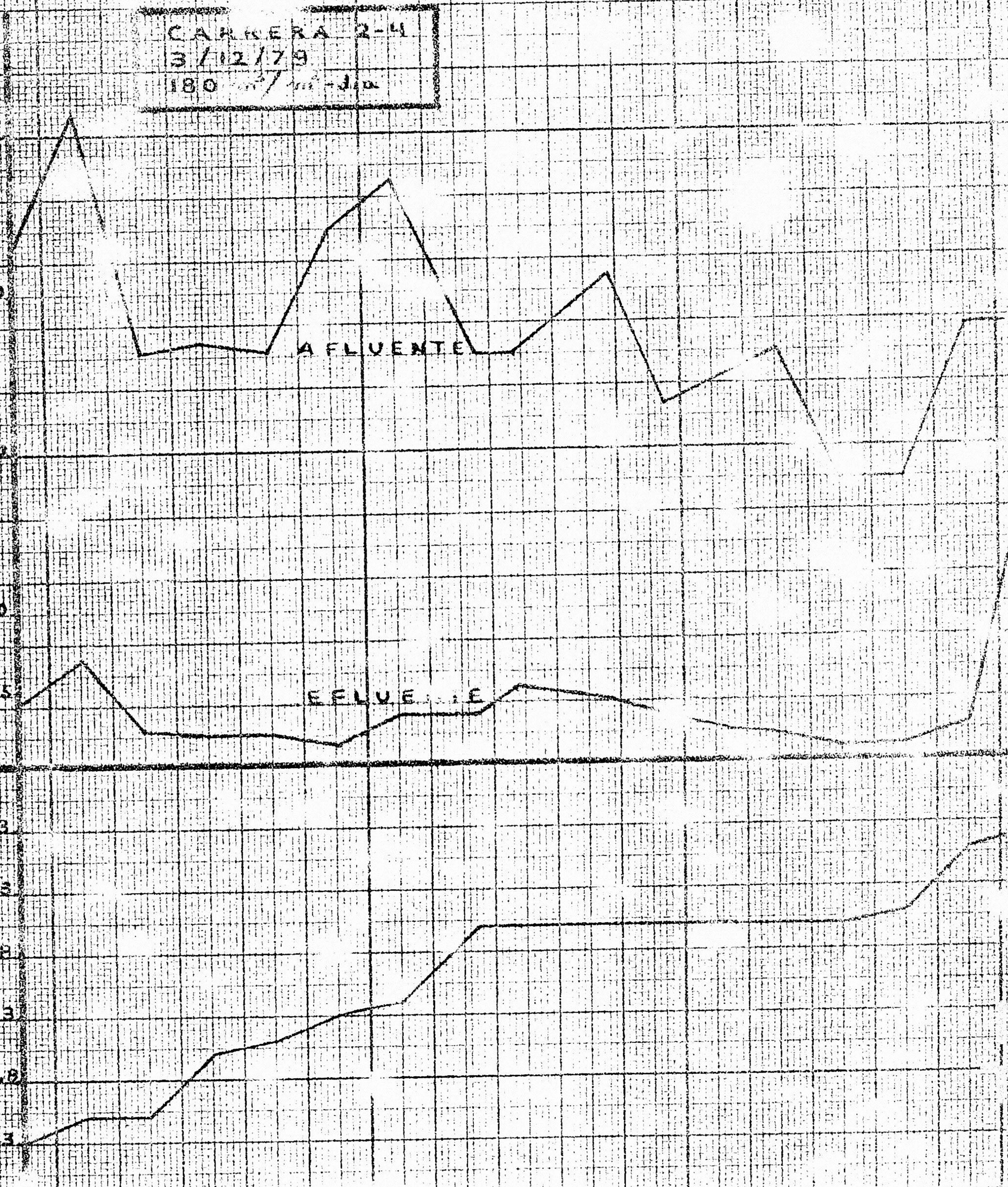
EFLUENTE

H_F (cm de H₂O)

4.8
 4.2
 3.6
 3.0
 2.4

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30

TIEMPO (HORAS)



Fecha : 10.12.79

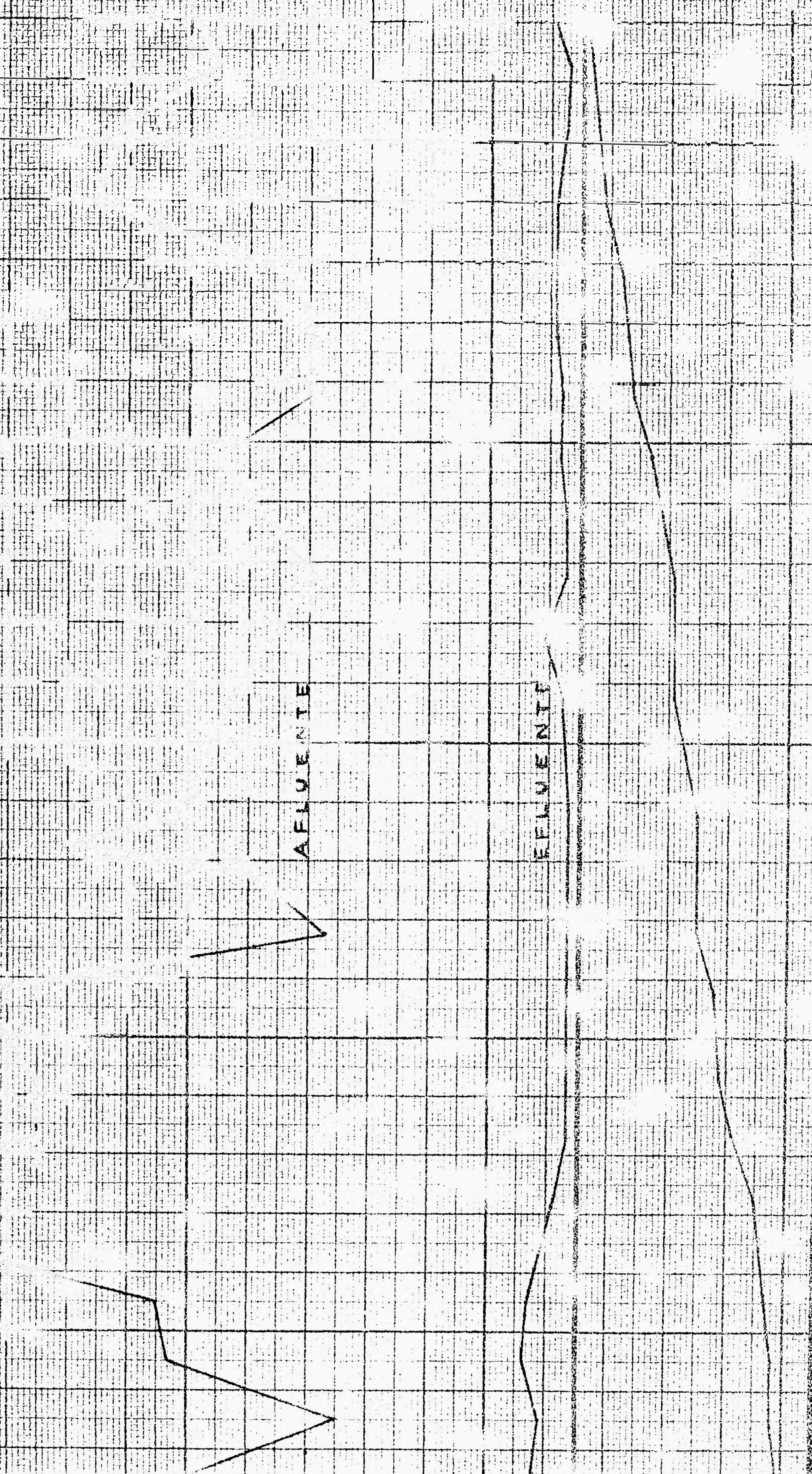
pH : 7.8

Tasa : 150 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	Hf		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
163	18	88.9	12:00	0:00	2.1	28.6	25.0°
100	15	85.0	14:00	2:00	2.2	29.9	25.0°
170	22	87.0	16:00	4:00	2.25	30.6	25.5°
175	20	88.6	18:00	6:00	2.3	31.3	24.5°
350	9	97.4	21:30	9:30	2.5	34.0	21.5°
225	4	98.2	23:30	11:30	2.9	39.5	22.0°
226	4	98.2	1:30	13:30	3.1	42.2	21.5°
250	4.75	98.1	4:30	16:30	3.2	43.5	20.5°
105	4.75	95.5	6:30	18:30	3.5	47.6	22.5°
136	4.75	90.5	8:30	20:30	3.55	48.3	23.0°
20	4	98.0	9:30	21:30	3.60	49.0	23.0°
165	4	97.6	10:30	22:30	3.65	49.6	25.0°
144	7	95.1	14:30	26:30	3.8	52.0	27.0°
172	14	92.0	16:30	28:30	3.85	52.4	26.0°
97	5.5	94.3	18:30	30:30	3.90	53.0	24.0°
131	5.5	95.8	20:30	32:30	4.1	55.8	22.5°
150	8.5	94.3	22:30	34:30	4.3	58.5	22.5°
112	4.5	96.0	00:30	36:30	4.6	62.6	22.5°
110	9	92.0	2:30	38:30	4.7	64.0	22.5°
118	9	92.4	4:30	40:30	4.8	65.3	21.0°
200	9	95.5	6:50	42:50	5.1	69.4	22.0°
180	6	97.0	9:00	45:30	5.2	70.	23.0°
151	4.5	97.0	11:00	47:30	5.3	72.1	26.0°
170	11	93.6	12:40	49:10	5.4	73.4	26.5°

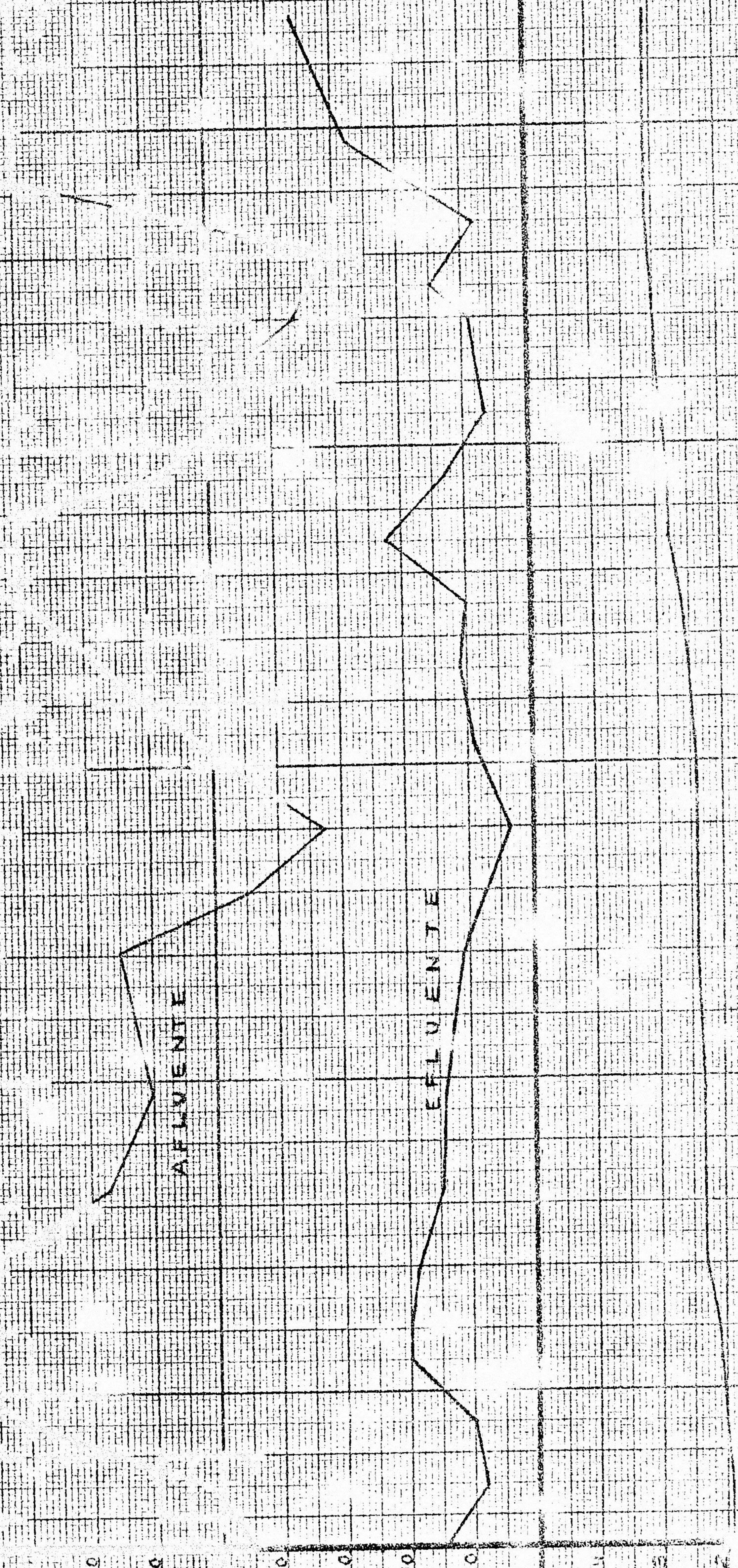
CA 167/121
A 2

U
TUR
f (cm de Hg)



2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48
112 M P O (H O P A S)

150
117.0



T R B I E D A D (U.U.)
m de Hg

10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50

TIEMPO (HORAS)

3.3 Tasas de Lavado

El lavado de esta unidad se llevaba a cabo, haciendo circular a gua a través del filtro en flujo ascendente a una tasa mucho ma yor que la de filtración, apoyándonos en la bibliografía (Cuadro III - 1) decidimos trabajar en la primera serie de pruebas con una tasa de $980 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, valor que se encontraba dentro del rango recomendado. Esta tasa de lavado resultó ser inefi cás, ya que no lograba expandir el lecho y no lograba estratifi carlo, por lo cual se decidió variar el filtro y volver a tani zar la arena con el objeto de colocar el lecho ya estratificado. Al realizar nuevamente el lavado de la unidad comprobamos que había mejorado, pero aún la zona inferior del filtro no se en contraba completamente limpia. En la segunda serie de pruebas se decidió aumentar la tasa de lavado a $1150 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ y produ cía una expansión del orden del 15%, eran las partículas finas las que se fluidificaban pero en la interfase arena grava no se producía expansión, se pensó que era debido al tamaño de los granos de arena, aproximadamente 2 mm. Con el objeto de lograr la limpieza completa del material filtrante, se decidió expan dir el lecho, aumentando su porosidad por medio de aire compri mido que se suministraba con un pequeño compresor a intervalos de dos minutos y a $2.5 \text{ Kgr}/\text{cm}^2$, luego del cual se aplicaba el a gua.

Debido a este procedimiento se perdieron unos centímetros del material filtrante fino, pero se obtenía un lavado perfecto de la grava y de las partículas de arena gruesa. Como este siste ma de lavado resultaba inadecuado para el objetivo que perse guiamos, que era el de utilizar el filtro para pequeñas comuni dades rurales, decidimos aumentar la tasa de lavado a $1680 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ aproximadamente once veces mayor que la tasa de filtra ción normal de $150 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.

CARACTERISTICAS DEL LAVADO ASCENDENTE

TIEMPO MINUTOS	TASA DE FILTRACION m ³ /m ² /día						
	240	210	180	150		150	120
1/2	2,000	1,300	5,840	1,180	50		50
1	5,280	3,040	14,400	13,920	80		15,000
2	10,880	11,520	10,400	4,400	6,400		8,960
3	2,320	2,640	2,560	1,200	660		800
4	372	400	1,040	900	255		235
5	163	300	160	370	140		195
6	115	90	140	275	130		100
7	100	40	55	220		22	70
8	79	13	40	160		18	50
9	30	5	20	100		14	42
10	10		20	50		9	40
11	9		15	22			25
12	9		10	18			20
13	5		7	15			12
14	4		7	10			8
Tasa de lavado m ³ /m ² /día	1,150	1,150	1,150	1,270	1,680	1,486	1,680
Velocidad cm/seg.	1.34	1.34	1.34	1.48	1.96	1.73	1.96
% de agua utilizado del filt.	3.76%	3.6%	3.3%	3.31%	2.5% Cruda	0.71% Limpia 3.21%	3.77%
Duración de la ca rrera en horas	17:15	18:00	33:00	49:10	46:30		67:30
Aire Com primido 2 minutos	Si	Si	Si	Si		No	No

(*) Turbidez Máxima despues del lavado 20 UJ.

Durante la tercera serie de experiencias se mantuvo esta tasa de lavado con excelentes resultados, ya que, se redujo el tiempo de lavado y se mantuvo con el mismo porcentaje de agua utilizada para tal fin.

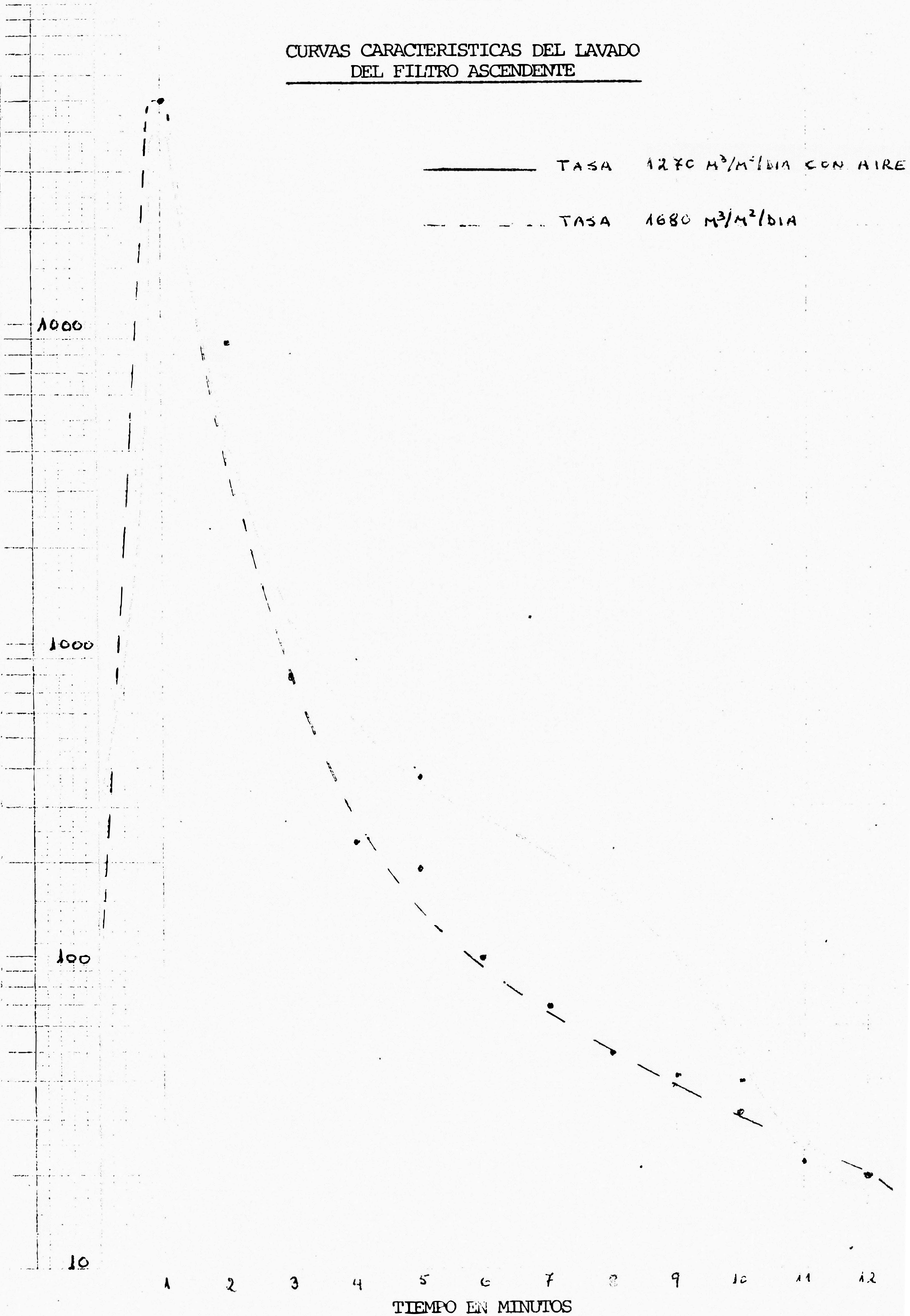
En la Fig. III - 5 se muestran dos curvas de lavado características, en una de ellas se ha utilizado una tasa de $1680 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ y aire comprimido en que la curva esta bajando en forma continua y uniforme, pero en cierto momento aumenta la turbidez por efecto de la salida de burbujas de aire.

Se pensó en la factibilidad de disminuir el porcentaje de agua filtrada para lavado, utilizando agua cruda en los primeros minutos del lavado, donde se presenta una mayor turbidez y una alta tasa, con el objeto de expandir el lecho y luego terminar el lavado del filtro con agua limpia, los resultados de esta prueba fueron alentadores, como se muestra en el Cuadro III-4.

4.- EFICIENCIA

La carrera de un filtro esta limitada por dos factores básicos que son la turbidez efluente y la pérdida de carga permisible. Durante las pruebas realizadas se observó que la pérdida de carga progresaba muy lentamente y que la carrera se detenía generalmente por irrupción de turbidez, por lo que se decidió controlar la remoción de turbidez como parámetro representativo de la eficiencia del filtro. Durante las tres series de carreras de filtración se obtuvieron diferentes eficiencias para una misma tasa de filtración, esto se debió a que las características de agua afluente variaron en cada serie, ya que se emplearon arcillas de diferentes lugares y tamaños de partículas (Cuadro III - 4-1), así como también se variaron las características granulométricas del filtro.

CURVAS CARACTERISTICAS DEL LAVADO
DEL FILTRO ASCENDENTE



Por ejemplo, en la primera serie de pruebas se obtiene la mayor eficiencia en la remoción de turbidez, ya que, al no estar estratificado el lecho la mayor pérdida de carga se presenta en los primeros centímetros inferiores del lecho. Como se muestra en la Fig. III - 3.

CUADRO III - 4-1

SERIE	CLASE DE ARCILLA	CARACTERISTICAS	LECHO FILTRANTE
Primera	Mezcla de arcilla de la selva Malla No. 100	Muy lãgosa y fuertemente co _l orida.	Altura 1.50 m TE 0.90 mm CU = 2 No estratif.
Segunda	Mezcla de arcilla Malla No. 100.		TE 0.85 mm CU = 2 Arena estrafif.
Tercera	Arcilla de la Fábrica de Ladri- llos Rex, Malla No. 325	Muy cohesiva	Altura 1.40 m TE = 0.85 mm CU = 2

CONCLUSIONES:

- 1.- El incremento de la profundidad del lecho produce mejores resultados en la remoción de partículas y evita los problemas de fluidificación del lecho.
- 2.- El uso de aire comprimido y agua a tasas normales o el empleo de altas tasas de lavado ha sido necesario para romper el lecho compactado y permitir el lavado de las capas inferiores del lecho filtrante.
- 3.- El uso de una rejilla sobre la superficie del medio, alarga la carrera del filtro y mejora la capacidad de retener las partículas.
- 4.- La filtración ascendente tiene una ventaja definitiva sobre la filtración descendente, que es la de aprovechar la capacidad de todo el lecho para retener las partículas a diferencia del filtro descendente que aprovecha solo unos pocos centímetros del lecho.
- 5.- Este sistema de filtración brinda un pretratamiento adecuado para aguas de baja turbidez (= 250 UJ) produciendo una remoción de partículas que varía entre el 70% y el 96% para diferentes tasas de filtración, dejando expedito el efluente para su filtración final.
- 6.- El filtro ascendente es muy sensible a las pulsaciones, es decir, los aumentos bruscos en la velocidad de filtración, momento en el cual pasan al efluente gran cantidad de sólidos retenidos para luego estabilizarse y continuar con su operación normal. Tanto mayor es el deterioro cuanto mayor es el cambio de velocidad.

CUADRO III - 4-2

EFICIENCIA

SERIE	T A S A m ³ /m ² /día	300	240	210	180	150	120
I	MAX	92.7	89.8	93.9	90.0		
	PROM	84.14	83.2	88.1	87.3		
	MIN	73	75	80	77.8		
II	MAX	76.3	91.4	96.0	95.9	98.2	
	PROM	72.14	81.7	88.0	89.5	14	
	MIN	34.1	67.4	68.6	80.6	85	
III	MAX					89.2	99.5
	PROM					78.3	90.1
	MIN					60	70.3

- 7.- Una desventaja de este sistema es la alta tasa de lavado que utiliza aproximadamente $1700 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, que se traduce en el 4% del agua filtrada total, aunque este porcentaje puede ser reducido tal como se demostró, con el empleo de agua turbia en los primeros minutos a una tasa alta de lavado y afinar el lavado con agua limpia a una tasa mucho menor, utilizando aproximadamente 0.7% del agua filtrada.

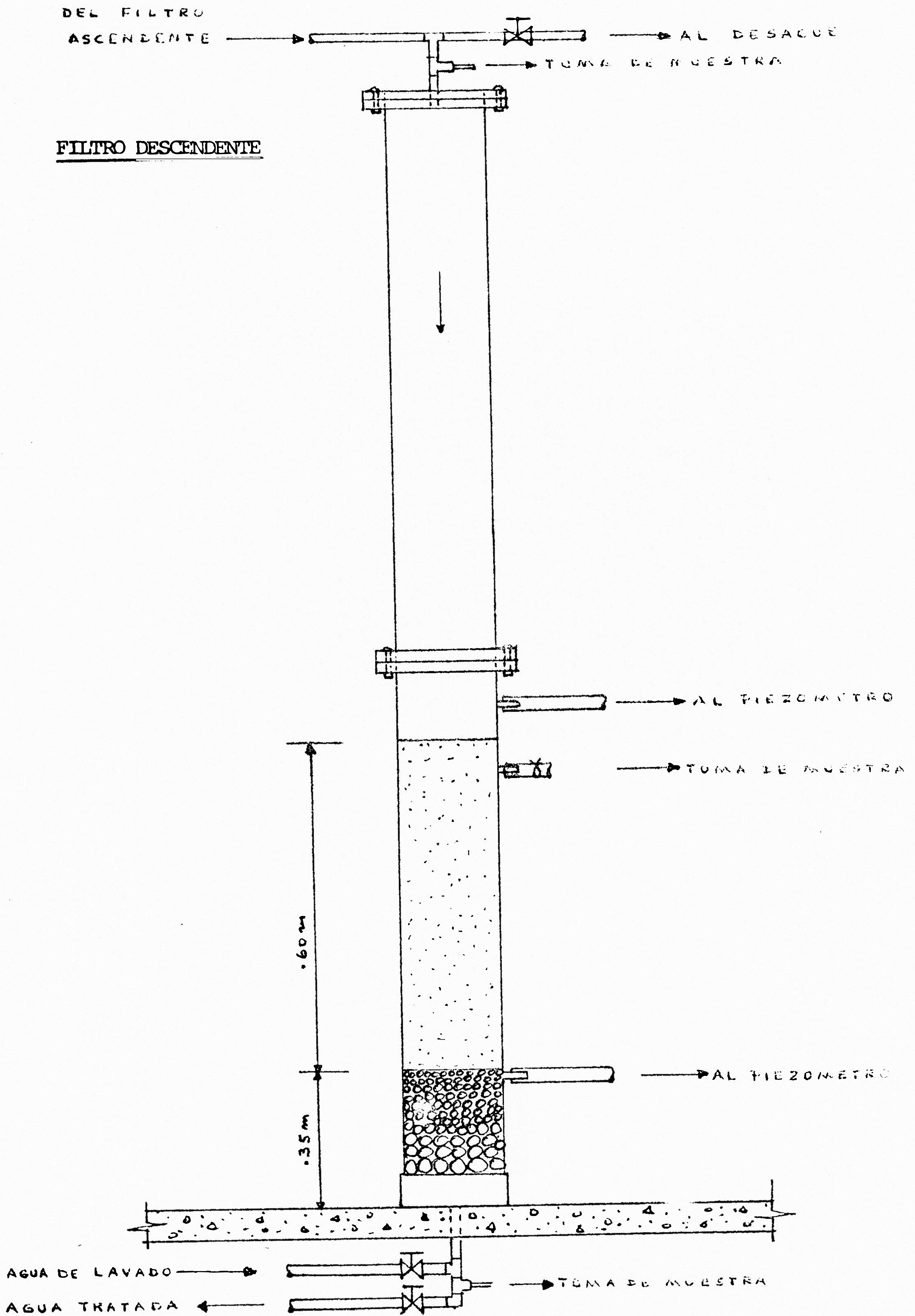
CAPITULO IV - Filtro Descendente

1.- CARACTERISTICAS GENERALES

Dado que el tratamiento realizado por el Filtro Descendente no cumplía con los requisitos mínimos de calidad para agua potable, se decidió u tilizar un filtro rápido descendente convencional como tratamiento fi nal. Las principales características de los filtros rápidos descendenen tes son las siguientes:

- Velocidad de filtración: Entre 120 y 360 m³/m²/día.
- Profundidad del lecho: Entre 45 y 75cm. no reducidos por lavado.
- Tamaño de Arena : Tamaño efectivo (TE) entre 0.45 y 0.60.
- Distribución del tama
ño de los granos de a
rena en los filtros: Estratificado con los granos mas pequeños o
mas ligeros en la parte superior y los más
pesados en el fondo.
- Sistema de drenaje in
ferior :
 - Tubos laterales perforados, descargando a
los tubos principales.
 - Placas porosas sobre la capa de entrada.
 - Bloques porosos con canales incluidos.
- Pérdida de Carga : Inicial 0.30m. y final 2.70m.
- Duración del ciclo en
tre limpiezas : 12 a 72 horas.
- Penetración de la mate
ria suspendida : Profunda.
- Lavado del filtro : Que produzca entre 30 y 50% de expansión por
contraflujo.

FIG. IV - 1



1.1 Granulometría

Para la primera serie de pruebas se emplearon 0.50m. de arena con TE : 0.55mm. y un CU = 2, sobre un lecho de 0.20m. de arena torpedo con TE : 0.85mm. y CU = 2, ambas preparadas con arena de la playa de la Herradura y de arena fina de la Atarjea. Cuadro IV - 1-1). El inconveniente que se encontró fue que con el lavado en contraflujo la arena torpedo se mezclaba con la arena fina y, al realizar un nuevo análisis granulométrico se encontró un TE : 0.75mm. y CU = 2.1; por lo que se decidió cambiar el lecho filtrante por 0.60m. de arena con TE : 0.55mm y CU = 1.7, lecho que se empleó hasta la finalización de las experiencias.

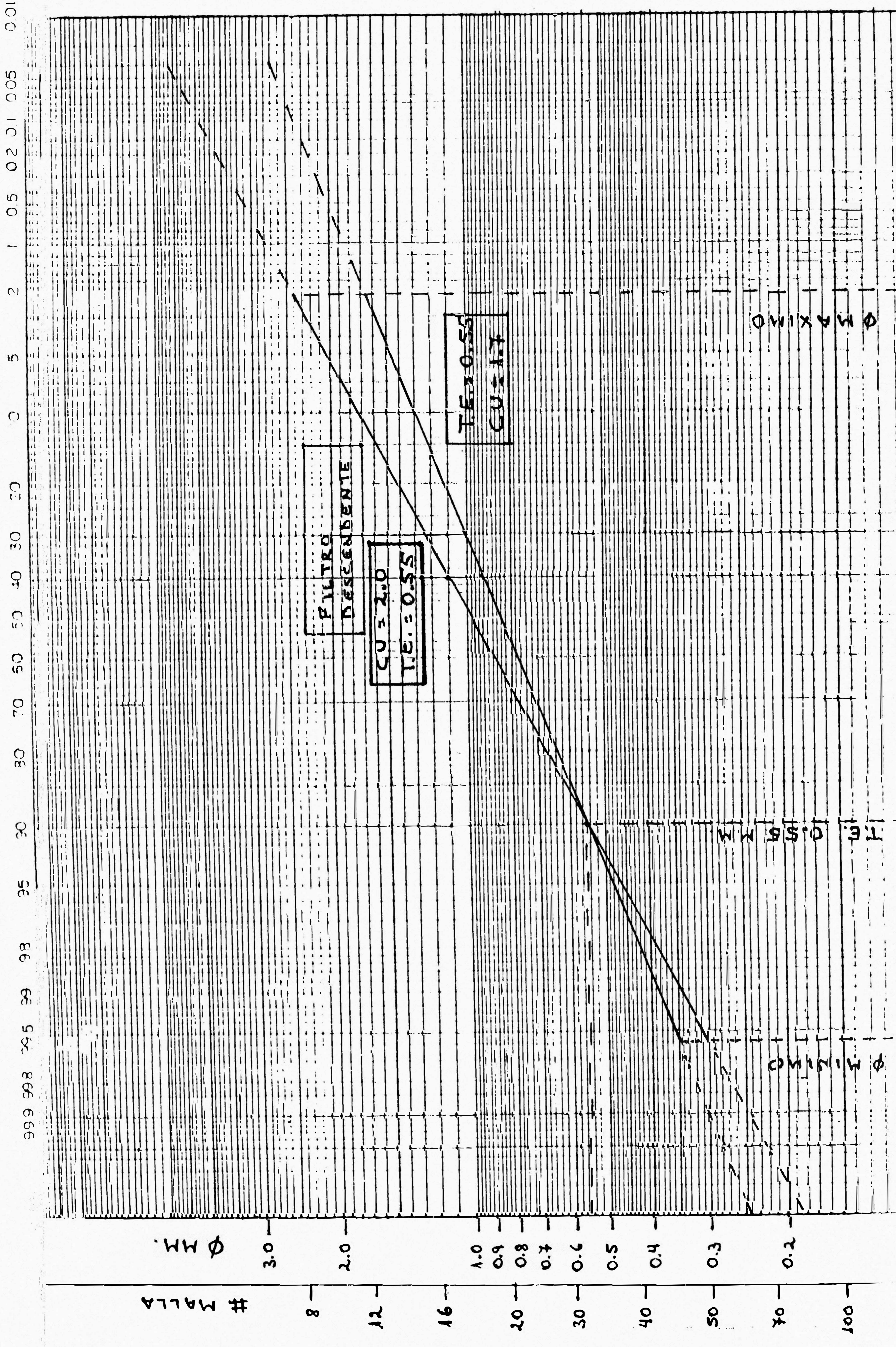
2.- TASA DE FILTRACION, PERDIDA DE CARGA Y TASA DE LAVADO

2.1 Tasa de filtración

Con el objeto de conocer la eficiencia en la remoción de partículas del filtro rápido descendente sin utilizar coagulación, se realizaron tres series de experiencias, variando las características del agua a filtrar, tanto en el tipo de arcilla como en la turbidez afluente aplicada al filtro, para lo cual se desarrollaron tasas de filtración tales como: 300, 240, 210, 180, 150, 120 m³/m²/día y así hallar la velocidad de filtración mas conveniente.

2.2 Pérdida de Carga

La mayor o menor distribución de la pérdida de carga en el lecho filtrante es función de la penetración de las partículas, si estas penetran profundamente, la distribución es mucho mayor y la



CUADRO IV - 1-1

SELECCION DE ARENA REQUERIDA

MALLA	ABERTURA mm	% ACUMULADO QUE PASA			
		ARENA FINA DE LA ATARJEA TE:0.85mm CU=1.17	ARENA MUY FINA DE LA HERRADURA TE:0.245mm CU=2	ARENA REQUERIDA	
				TE:0.55mm CU=2	TE:0.55mm CU=1.7
8	2.380	99.9	100	97.5	99.8
12	1.679	99.6	100	88.5	97.5
16	1.191	97.6	100	64.0	81.0
20	0.841	7.9	98.43	36.0	45.0
30	0.595	1.8	78.25	13.6	14.0
40	0.42	1.4	33.09	3.0	2.0
50	0.297	1.2	77.65	0.38	0.1
70	0.21	1.0	-.--	0.02	-.--

carrera de filtración también es mas larga para la misma tasa de filtración que cuando la penetración es apenas superficial. Las tasas altas tienen la ventaja que inducen una penetración más profunda, pero pueden desmejorar la calidad del efluente, ya que, las partículas pueden atravesar el lecho y aparecen en el efluente. Por otro lado, el tamaño del grano en la capa superior del lecho influye mucho en velocidad de desarrollo de la pérdida de carga; el grano fino tiende a retener mayor cantidad de sólidos y evitar la penetración de las partículas, lo que puede causar carreras muy cortas, por cuanto, dicha penetración se produce a través de miles de aberturas que se abren en la superficie del filtro. A medida que la carrera continúa, estos poros disminuyen de tamaño, hasta que los mas diminutos se tapan completamente y el flujo circula por los mas grandes, como todas las partículas no pueden pasar por ellos se acumula sobre la superficie formando una película que crece con el tiempo y, en la que se pueden observar ciertos pequeños agujeritos.

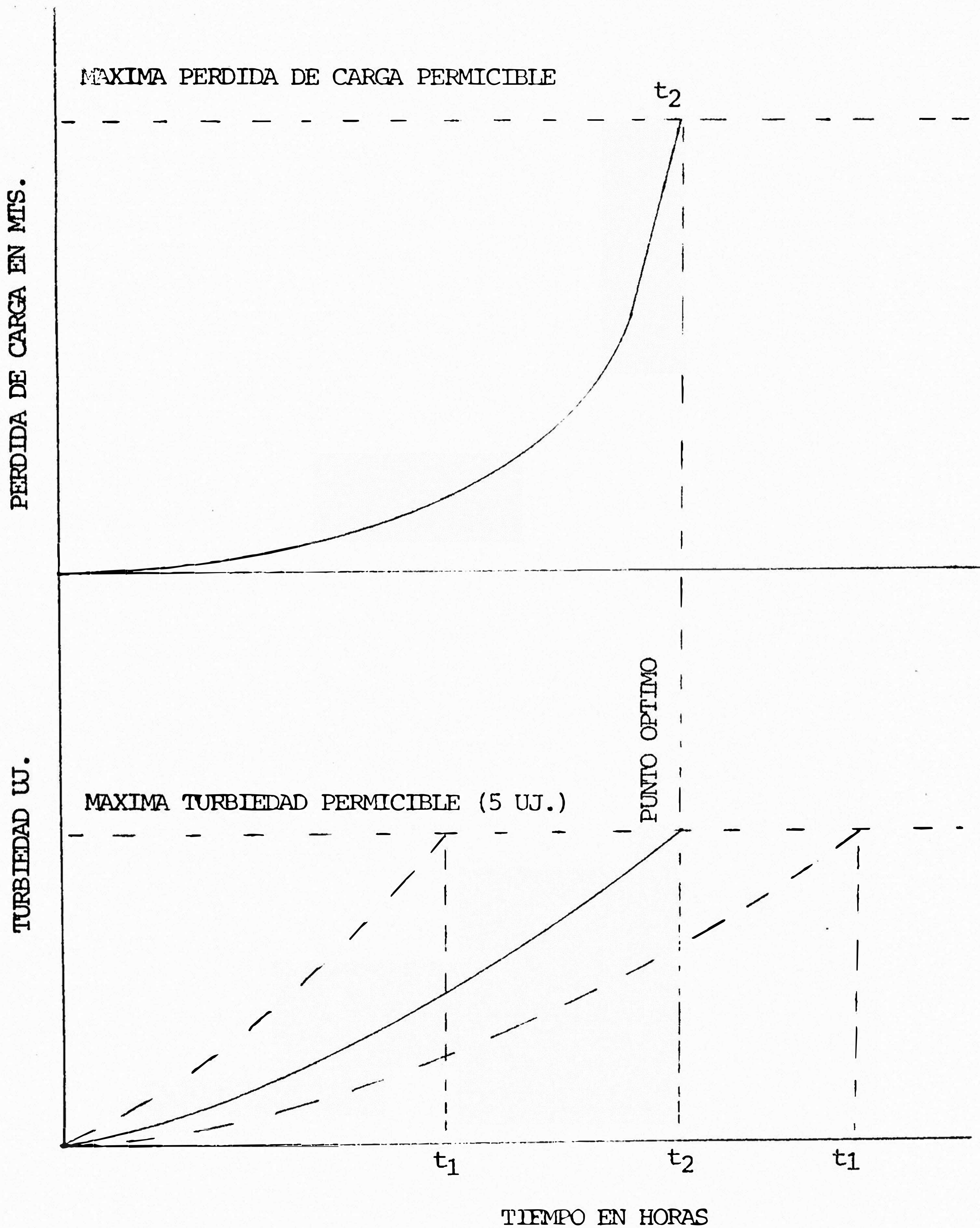
Las cavidades grandes se van llenando y uniéndose entre sí para formar conductos o grietas, por ellos pasa el agua depositando material en suspensión. Estos conductos van profundizándose con el tiempo hasta que eventualmente pueden atravesar todo el lecho.

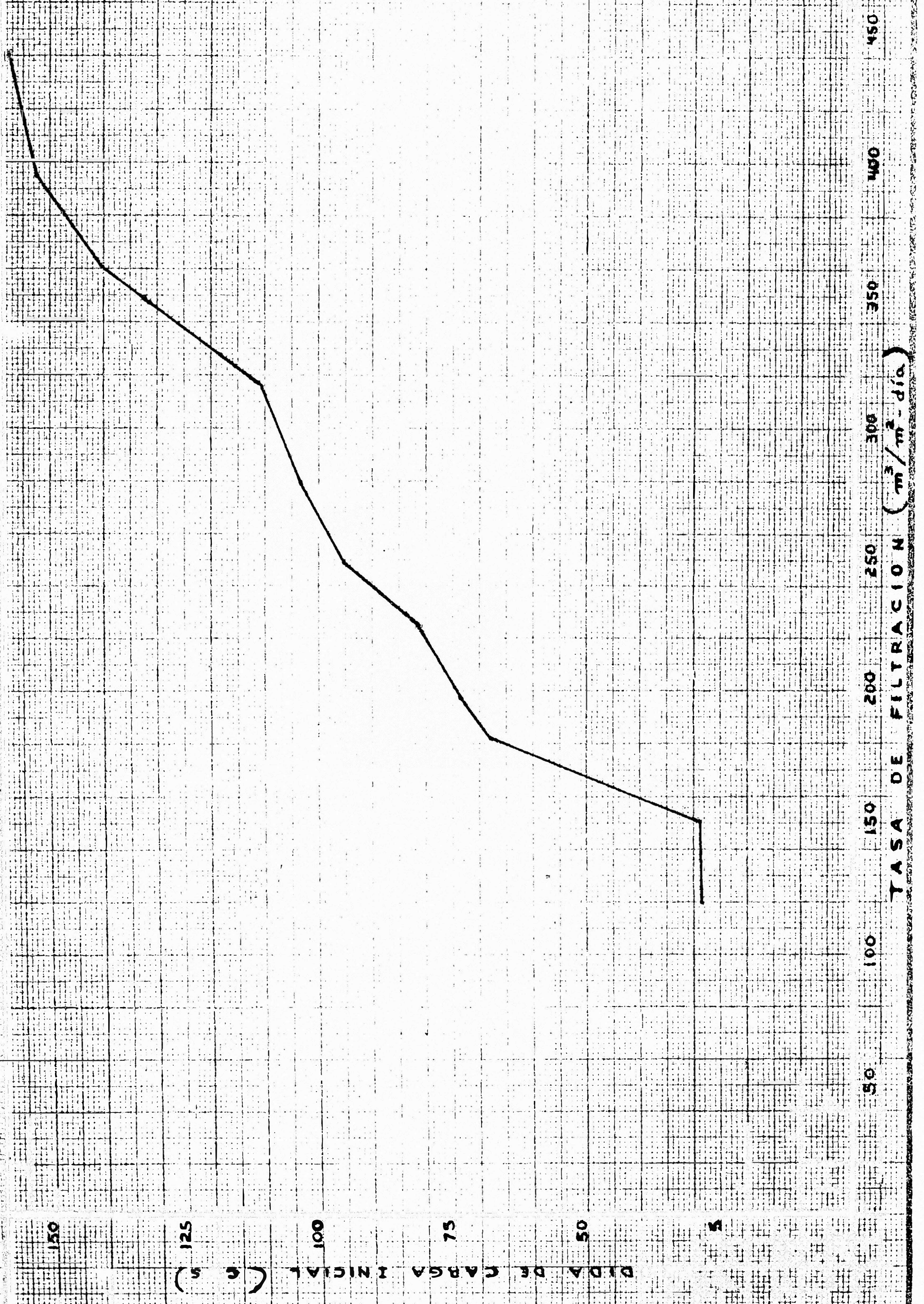
2.3 Tasa de lavado

En esta operación se inyecta agua por la parte de abajo del filtro con presión adecuada, con el objeto de que el lecho filtrante se expanda, los granos se froten y se desprenda todo el material que ha quedado retenido entre ellos en la operación del filtrado, debe realizarse cada vez que la pérdida de carga llegue al límite establecido o cuando la calidad del efluente desmejore.

FIG. IV - 3

RELACION PERDIDA DE CARGA, TURBIEDAD, EFLUENTE





150

125

100

75

50

5

CARGA INICIAL (g)

50

100

150

200

250

300

350

400

450

TASA DE FILTRACION ($m^3/m^2 - dia$)

FIG. IV - 3

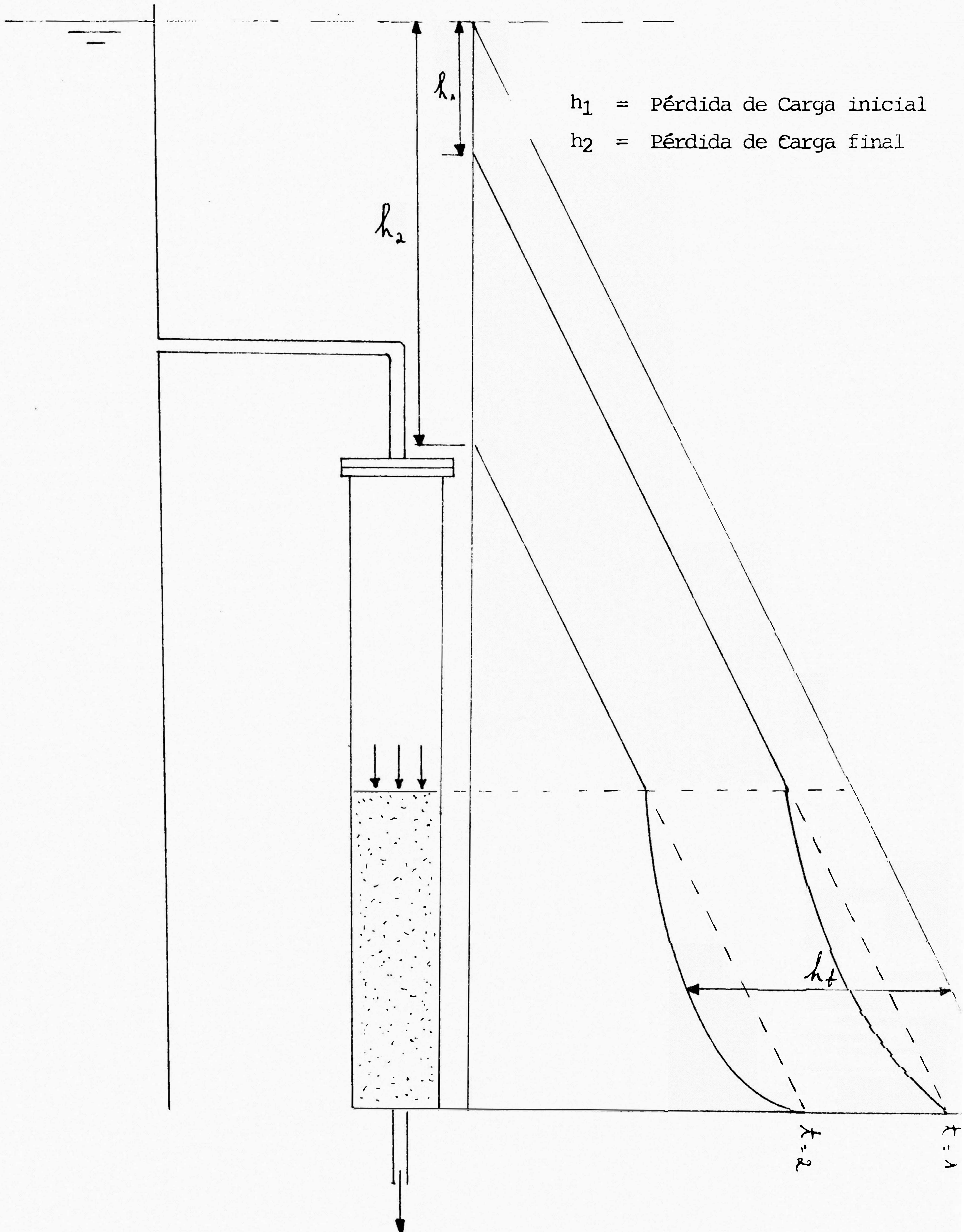


DIAGRAMA DE PRESIONES Y PERDIDA DE CARGA

PRIMERA SERIEFILTRO DESCENDENTECARRERA 1 - 1

Fecha : 12.09.79

pH : 7.8

Tasa : 300 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	Hf		TIEMPO
Afluente	Efluente			Hg.	H ₂ O	
62	8	87.1	10:30	7.2	97.9	0:00
30	11	68.6	11:30	8.0	108.8	1:00
27	10	63.0	12:30	8.2	111.5	2:00
24	8	67.0	13:30	8.3	112.9	3:00
23		48.0	14:30	8.8	119.7	4:00
25	10	60.0	15:30	9.0	122.4	5:00
15	5	67.0	16:30	9.3	126.5	6:00
10	4	60.0	17:30	9.8	133.3	7:00
15	5	67.0	18:30	10.0	136.0	8:00

CARRERA 1 - 2

Fecha : 18.09.79

pH : 7.85

Tasa : 240 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	Hf		TIEMPO
Afluente	Efluente			Hg.	H ₂ O	
25	5	80.0	10:30	6.2	84.3	0:00
77	6	92.2	11:30	6.5	88.4	1:00
32	5	84.4	13:30	7.4	100.6	3:00
17	2	88.2	14:30	7.4	100.6	4:00
22	4	82.0	15:30	7.5	102.0	5:00
21	5	76.0	16:30	7.6	103.4	6:00
20	5	75.0	17:30	7.9	107.4	7:00
17	5	70.6	18:30	8.4	114.2	8:00
28	8	71.4	19:30	8.8	119.7	9:00

12/1/79

0.0 m

18/1/79

40 m

TURBIDIDAD (U)

40

20

1

0

0.1

0.5

0.3

0.2

30

20

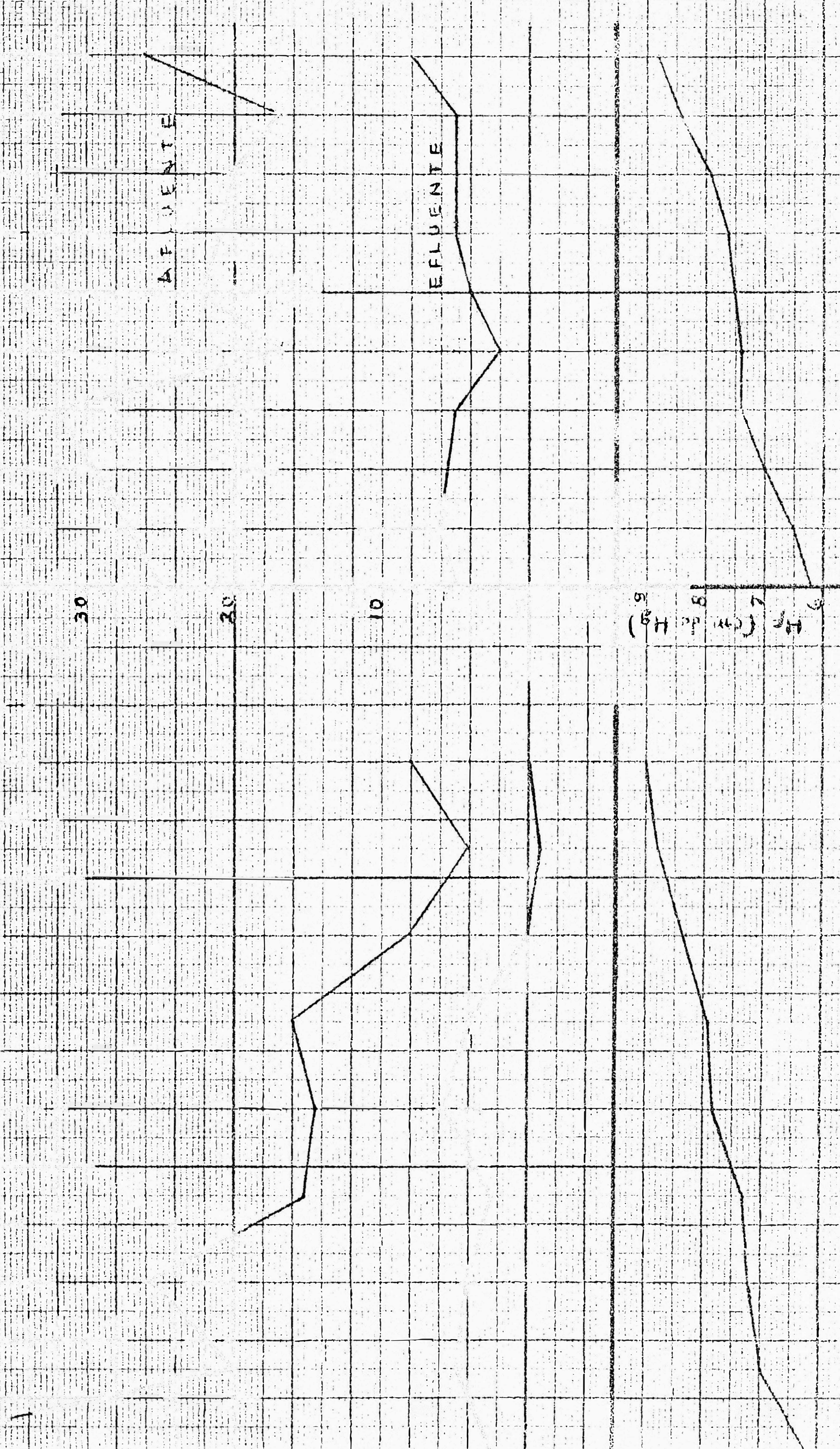
10

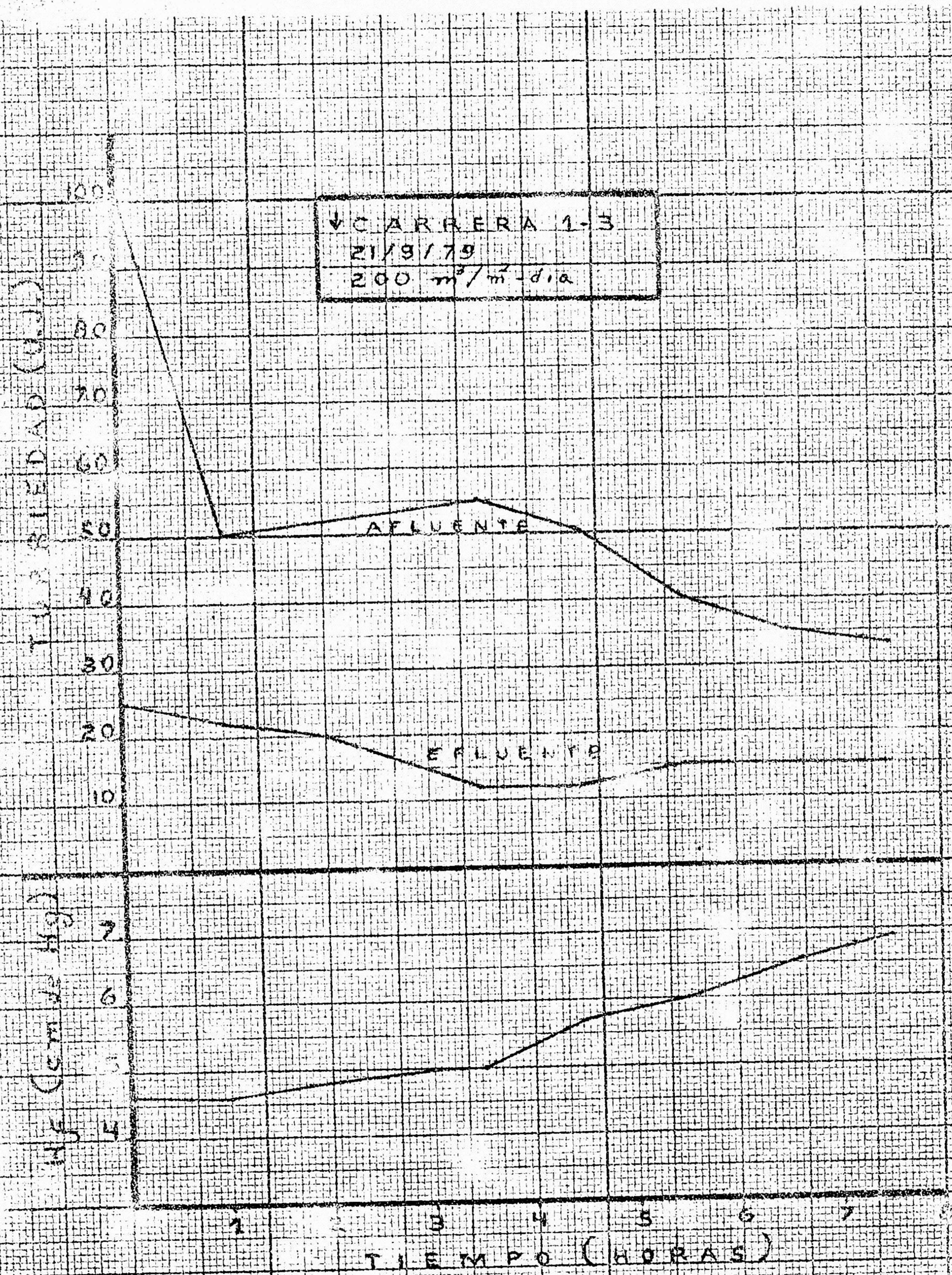
AFLUENTE

EFLUENTE

5.0
3.0
2.0
1.0

1 2 3 4 5 6 7 8 9
TIEMPO (HORAS)





SEGUNDA SERIEFILTRO DESCENDENTECARRERA 2 - 1

Fecha : 13.11.79

pH : 7.85

Tasa : 300 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	HF		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
85	20	76.5	3:30	0:00	5.0	68.0	21°
38	25	34.2	5:30	2:00	5.0	68.0	21°
41	22	46.3	7:30	4:00	5.2	70.7	20°
30	8	73.3	9:30	6:00	6.0	81.6	20°
36	8	77.8	11:30	8:00	7.4	100.6	19°
30	4.75	84.2	1:30	10:00	10.8	146.9	19°
40	15	62.5	3:30	12:00	21.8	296.5	19°

CARRERA 2 - 2

Fecha : 16.11.79

pH : 7.7

Tasa : 240 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	Hf		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
69	30	56.5	2:00	0:00	3.6	49.0	19°
28	4.75	83.0	4:00	2:00	3.9	53.0	18°
19	6.0	69.4	6:00	4:00	3.9	53.0	19°
9.5	1.75	81.6	8:00	6:00	4.4	59.8	20°
28	7	75.0	10:00	8:00	5.0	68.0	22°
57	9.3	83.7	12:00	10:00	5.3	78.1	22°
34	8	76.5	15:00	13:00	8.8	119.7	22°
20	3	85.0	17:00	15:00	11.7	159.12	22°
30	2.75	90.8	18:30	16:30	20.0	272.0	22°

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

TURBIDIDAD (U.U.)

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55

TURBIDIDAD (U.U.)

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55

AFLUENTE

AFLUENTE

AFLUENTE

AFLUENTE

10 12

10 12

10 12

10 12

10 12

10 12

10 12

Fecha : 19.11.79

pH : 7.95

Tasa : 210 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	Hf		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
33	1	97.0	10:00	0:00	3.5	47.6	21.5°
22	1	95.4	12:00	2:00	3.8	51.68	22.0°
9	0.75	92.0	14:00	4:00	3.8	51.68	22.5°
12	0.5	96.0	16:00	6:00	3.9	53.04	22.0°
12	0.75	93.7	17:20	7:20	4.3	58.48	21.0°
13	0.5	96.15	18:00	8:00	4.4	59.84	21.0°
7	0.1	98.6	20:00	10:00	5.0	68.0	21.0°
4.75	0.1	98.0	22:00	12:00	5.8	78.88	20.0°
7	0	98.6	24:00	14:00	6.6	89.76	19.0°
18	0.1	99.4	2:00	16:00	10.5	142.8	19.0°
45	0.1	99.8	4:00	18:00	19.4	263.84	19.0°

Fecha : 22.11.79

pH : 7.89

Tasa : 180 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	Hf		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
22	0.1	99.5	12:00	0:00	3.5	47.6	24.5°
35	0.5	98.6	14:00	2:00	3.7	50.32	24.5°
12	0.1	99.2	16:00	4:00	4.5	61.2	24.5°
10	0.1	99.0	18:00	6:00	4.7	63.92	22.0°
10	0.1	99.0	20:00	8:00	5.2	70.72	20.0°
7	0.1	98.6	22:00	10:00	5.3	72.08	20.0°
16	0.1	99.3	24:00	12:00	5.5	74.8	20.0°
16	0.75	95.3	2:30	14:30	6.5	88.4	19.5°
25	0.75	97.0	3:45	15:45	6.8	92.48	19.0°
20	3.5	82.5	6:00	18:45	7.5	102.0	19.0°
15	0.75	95.0	8:30	20:30	7.5	102.0	21.0°
10	0.75	92.5	10:30	22:30	7.6	103.36	22.0°
9.5	0.75	92.1	12:00	24:00	7.6	103.36	24.0°
5	0.75	85.0	14:00	26:00	7.6	103.36	24.5°
5	0.75	85.0	16:00	28:00	9.1	123.76	23.0°
12	0.75	94.0	18:00	30:00	10.6	144.16	22.5°
35	3.5	90.0	21:00	33:00	16.5	224.4	20.0°

CARRERA 2-3
19/11/79
210 m³/m²-dia

0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100



TIEMPO (HORAS)

R B I E D A U J .
H s e 9

14
12
10
8
6
4
2

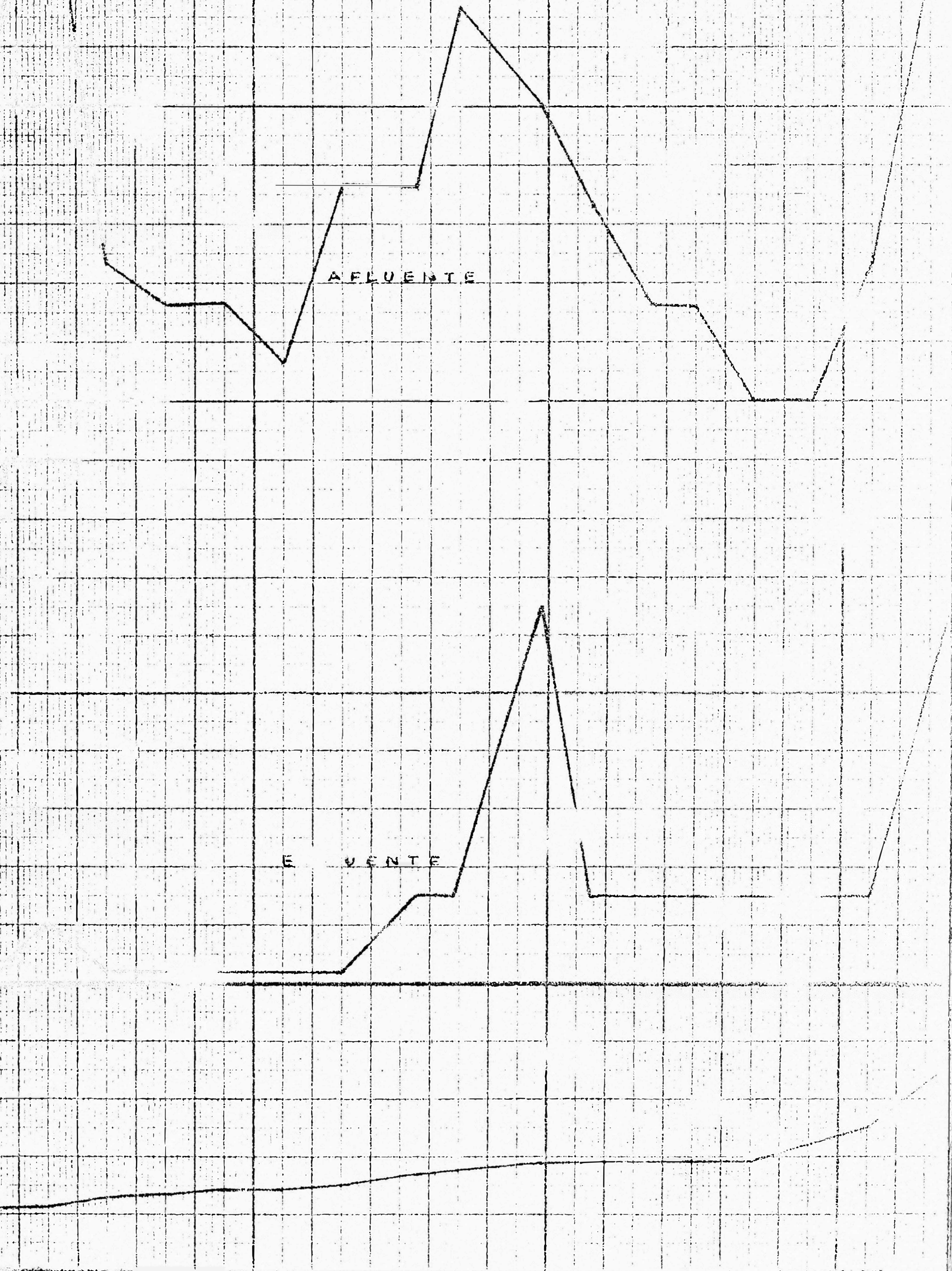
↓ CARRERA 2-4
22/11/79
180 m³/m

AFLUENTE

E V E N T E

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32

T I E M P O (H O R A S)



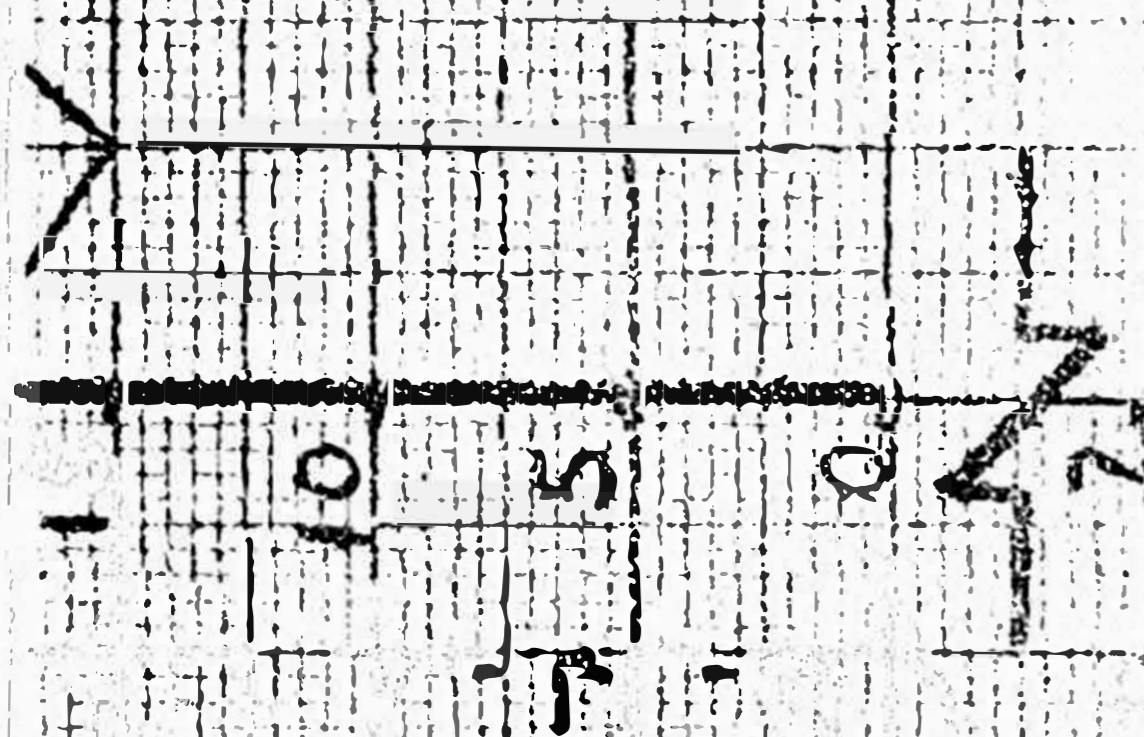
Fecha : 10.12.79

pH : 7.89

Tasa : 150 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	Hf		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
18	5.5	69.4	12	0:00	1.9	25.84	25.0°
15	4	73.3	14:00	2:00	2.2	29.92	25.0°
22	7	68.2	16:00	4:00	2.5	34.0	25.5°
20	4	80.0	18:00	6:00	2.5	34.0	24.5°
9	0.75	91.7	21:30	9:30	2.8	38.08	21.5°
4	0.1	97.5	23:30	11:30	3.0		22.0°
4	0.1	97.5	1:30	13:30	3.2	43.52	21.5°
4.75	0.1	97.9	4:30	16:30	3.2	43.52	20.5
4.75	0.15	96.8	6:30	18:30	3.45	46.92	22.5
4	0	97.5	8:30	20:30	3.60	48.96	23.0°
4	0.1	97.5	9:30	21:30	3.65	49.64	23.0°
4	0.1	97.5	10:30	22:30	3.75	51.0	25.0°
7	0.5	92.8	14:30	26:30	3.85	52.36	27.0°
14	7	50.0	16:30	28:30	3.90	53.04	26.0°
5.5	0.	98.2	18:30	30:30	3.95	53.72	24.0°
5.5	0.2	96.4	20:30	32:30	4.0	54.4	22.5°
8.5	0.1	98.8	22:30	34:30	4.15	56.44	22.5°
4.5	0.1	97.8	00:30	36:30	4.20	57.12	22.5°
9	0.1	98.9	2:30	38:30	4.3	58.48	22.5°
9	0.1	98.9	4:30	40:30	4.9	66.64	21.0
9	0.1	98.9	6:50	42:50	5.5	74.8	22.0°
6	0.1	98.3	9:00	45:30	6.2	84.32	23.0°
4.5	0.1	97.8	11:00	47:30	6.9	93.84	26.0°
11	0.2	98.2	12:	49:10	7.3	99.28	26.5

241 117.8
150 m 170 m



AFLUENTE

EFLUENTE

2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50

T L E M P O (H O R A S)

H₂O (cm de H₂O)

0.5
0.25

7

5

10

1

2

1

6

5

4

3

2

1

1

10

5

0

7

6

5

4

3

2

1

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

1

10

5

0

7

6

5

4

3

2

1

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

Fecha : 13.12.79

pH : 7.9

Tasa : 300 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	Hf		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
12	0.5	95.6	11:00	0:00	4.5	61.2	26°
6	2.5	58.3	13:00	2:00	5.0	68.0	27°
2.25	1.25	44.0	15:30	3:30	5.2	70.72	28°
8.75	3.5	60.0	20:30	8:30	6.4	87.04	24°
9.5	2.5	73.7	22:45	11:45	7.0	95.2	20°
8	2.5	68.7	00:45	12:45	8.3	112.9	20
10	2.5	75.0	2:00	14	9.8	133.3	19
18	7.0	61.0	4:00	16:00	13.5	183.6	19°
15	4.5	70.0	6:00	18:00	25.3	346.8	19°

CARRERA 3 - 2

Fecha : 15.12.79

pH : 7.9

Tasa : 240 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	Hf		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
8.0	2.5	68.7	13:00	0:00	4.0	54.4	28.0°
5.0	1.5	70.0	14:00	1:00	4.1	55.76	28.5°
5.5	2.0	63.6	15:00	2:00	4.2	57.12	27.0°
6.5	1.5	76.9	17:00	4:00	4.4	59.84	26.0°
9.5	2.5	73.7	19:00	6:00	4.9	66.64	25.0°
7.5	1.5	80.0	21:00	8:00	5.2	70.72	23.0°
11	2.75	75.0	23:00	10:00	5.7	77.52	22.5°
1	3.0	70.0	24:00	11:00	6.2	84.32	22.0°
	2.0	80.0	2:00	13:00	6.9	93.84	22.0°
20	5.0	75.0	5:15	16:15	11.3	153.68	22.0°
	2.5	79.2	6:00	17:00	13.3	180.88	23.0°
9.5	3.75	60.5	7:00	18:00	14.7	199.92	24.0°

C RR RA
15 127

B 12/7

18

0 3 1

AFU

0

B

N

6

6

4

4

2

2

EFFLUENT

EFFLUENT

24.5

19.5

14.5

9.5

4.5

6

13

10

7

4

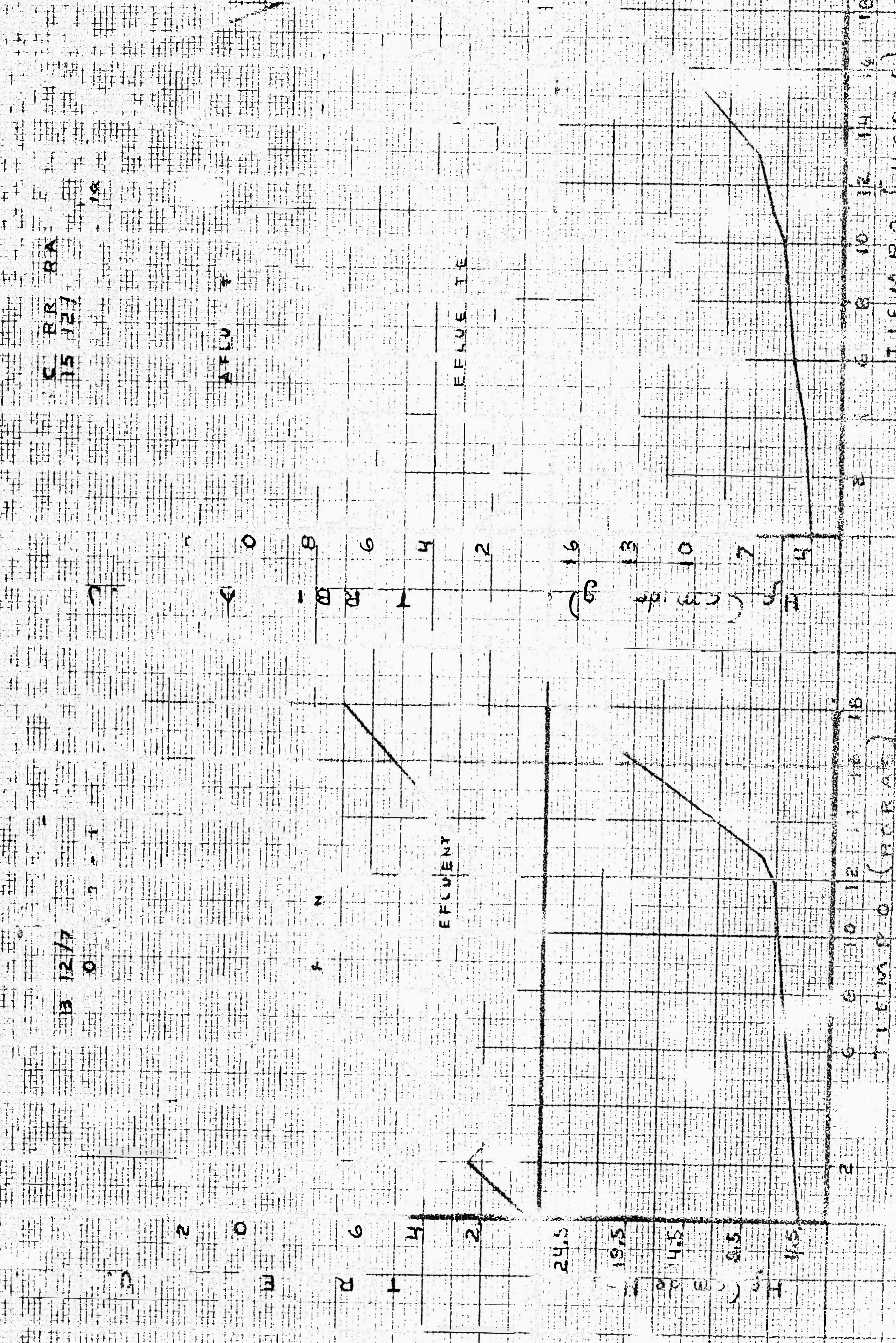
Height (cm) de

6 10 12 14 16 18

6 8 10 12 14 16 18

TIEMPO (HORAS)

TIEMPO (HORAS)



Fecha : 17.12.79

pH : 7.8

Tasa : 210 m³/m²/día

TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	Hf		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
5	0.5	90.0	8:00	0:00	3.0	40.8	27.0°
5.5	0.5	91.0	10:00	2:00	3.3	44.88	27.0
9.5	0.75	92.1	12:30	4:30	3.4	46.24	28.0°
9.5	1.5	84.2	14:15	6:15	4.0	54.4	28.5°
14	1.0	94.6	15:30	7:30	4.2	57.12	28.0°
8.5	0.75	91.2	17:30	9:30	5.0	68.0	27.0°
11	0.75	93.2	19:00	11:00	5.5	74.8	26.0°
19	2.5	86.8	21:00	13:00	6.7	91.12	25.0°
18	1.5	91.7	23:00	15:00	8.7	118.32	23.0°
18	2.5		0:15	16:15	10.5	142.8	23.0°
11	2.75	77.3	1:15	17:15	11.7	159.12	22.5°
10	1.5	85.0	2:15	18:15	12.3	167.28	23.0°
13	1.5	88.5	3:45	19:45	13.6	184.96	24.0°
16	3.0	81.25	6:10	22:10	16.0	217.6	25.0°

Fecha : 19.12.79

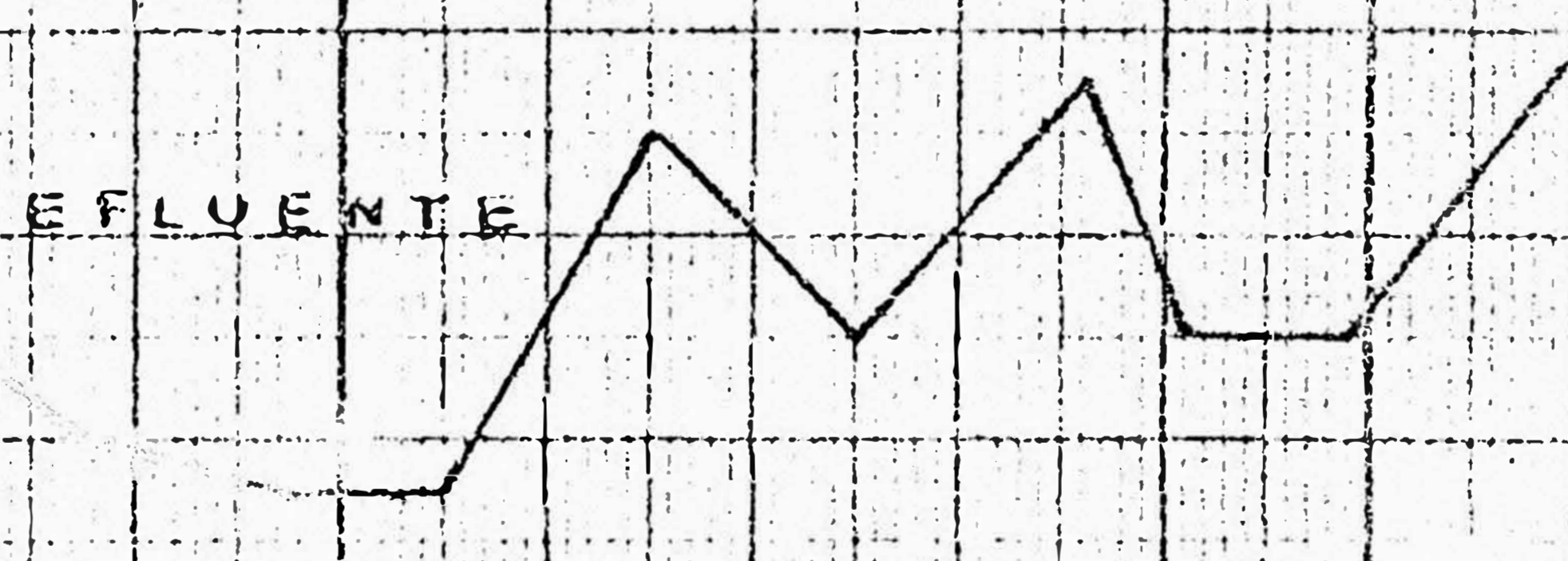
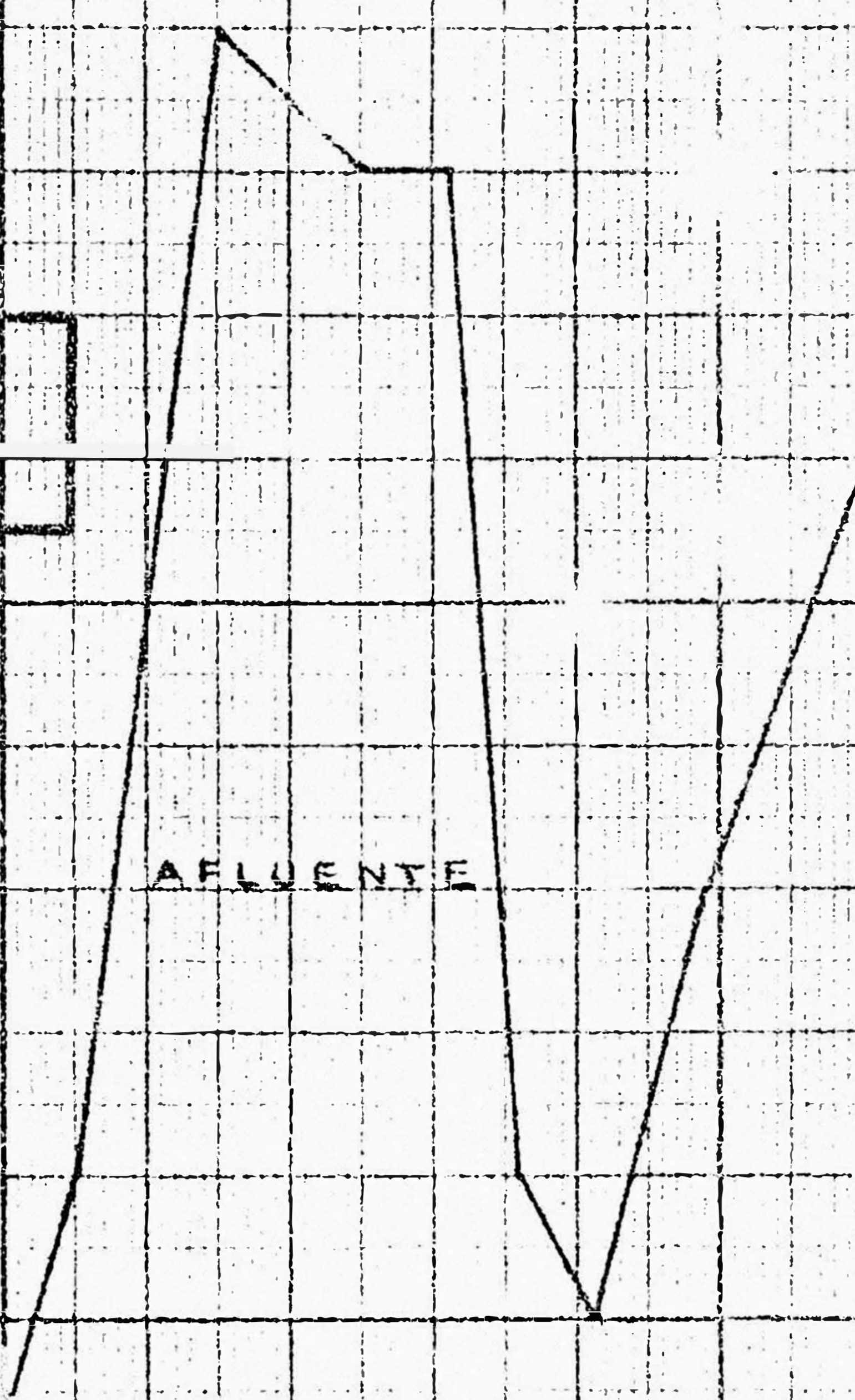
pH : 7.9

Tasa : 180 m³/m²/día

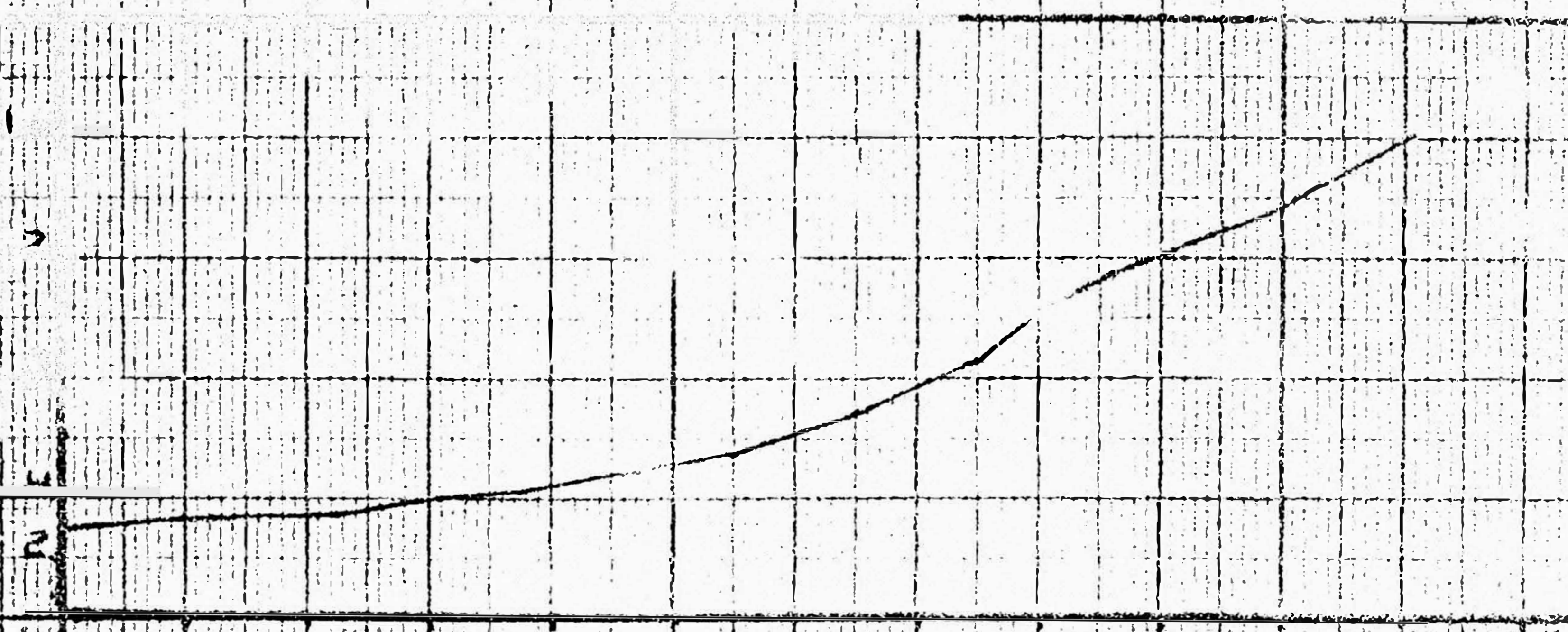
TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	HORA	TIEMPO	Hf		TEMP.
Afluente	Efluente				Hg.	H ₂ O	
20	2	90.0	8:30	0:00	2.7	36.72	27.0°
18	0.75	95.8	9:30	2:00	2.9	39.44	27.0°
8.5	0.75	91.2	11:00	4:30	3.2	43.52	27.5°
22	0.75	96.6	13:15	4:45	3.3	44.88	28.0°
5.5	0.5	90.9	15:00	6:30	3.4	46.24	28.5°
4	0.25	94.0	17:00	8:30	3.6	48.96	27.0°
8	0.25	97.0	18:30	10:00	3.9	53.04	26.0°
15	0.20	98.7	20:30	12:	4.5	61.2	25.0°
22	1.25	94.3	22:30		5.4	73.44	23.0°
40	7.5	81.2	0:30	16:	7.4	100.64	23.0°
30	5	83.3	6:15	22:15	14.7	199.92	25.0°
100	7.5	92.5	7:00	23:00	18.0	244.8	25.0°

CARRERA 3-3
17/12/79
210 m³/m²-dia

5
3
7
6
5
4
2
1



5
4
3
2



TIEMPO (HORAS)

✓ CARRERA 3-4
19/12/79
180 m³/m²-día

AFLUENTE

EFLUENTE

2 4 6 10 12 14 16 18 20 22 24

T I E M P O (H O R A S)

La mayoría de problemas del filtro se originan en un lavado deficiente incapáz de:

- Desprender la película que recubre los granos del lecho.
- Romper las grietas en donde se acumulan las partículas.

Al expandir el lecho durante el lavado y luego dejarlo asentar e iniciar el filtrado, el material no removido queda atrapado entre los granos y al progresar la carrera se compacta con lo que el lecho descende y se forman bolas de barro que disminuyen el área de paso del flujo.

La cantidad de agua inyectada al filtro debe ser tal que produzca una expansión del lecho entre 10 y 50%, sin embargo, una expansión exagerada no beneficia al lavado, ya que, impide el roce de los granos, evitando el desprendimiento de la película adherida a ellos. Por otro lado, si la expansión no es suficiente las partículas no pueden llegar a salir del filtro. Debe tenerse en cuenta que la expansión que se logre en un medio granular para una misma tasa depende de la temperatura. A mayor temperatura se requiere una mayor tasa de lavado para mantener la misma expansión.

En el Cuadro IV - 2-3, se muestran las características de lavado de la unidad descendente para varias velocidades de filtración y para una expansión del 50%, para lo cual se empleó entre el 2.5 y 3% del total filtrado.

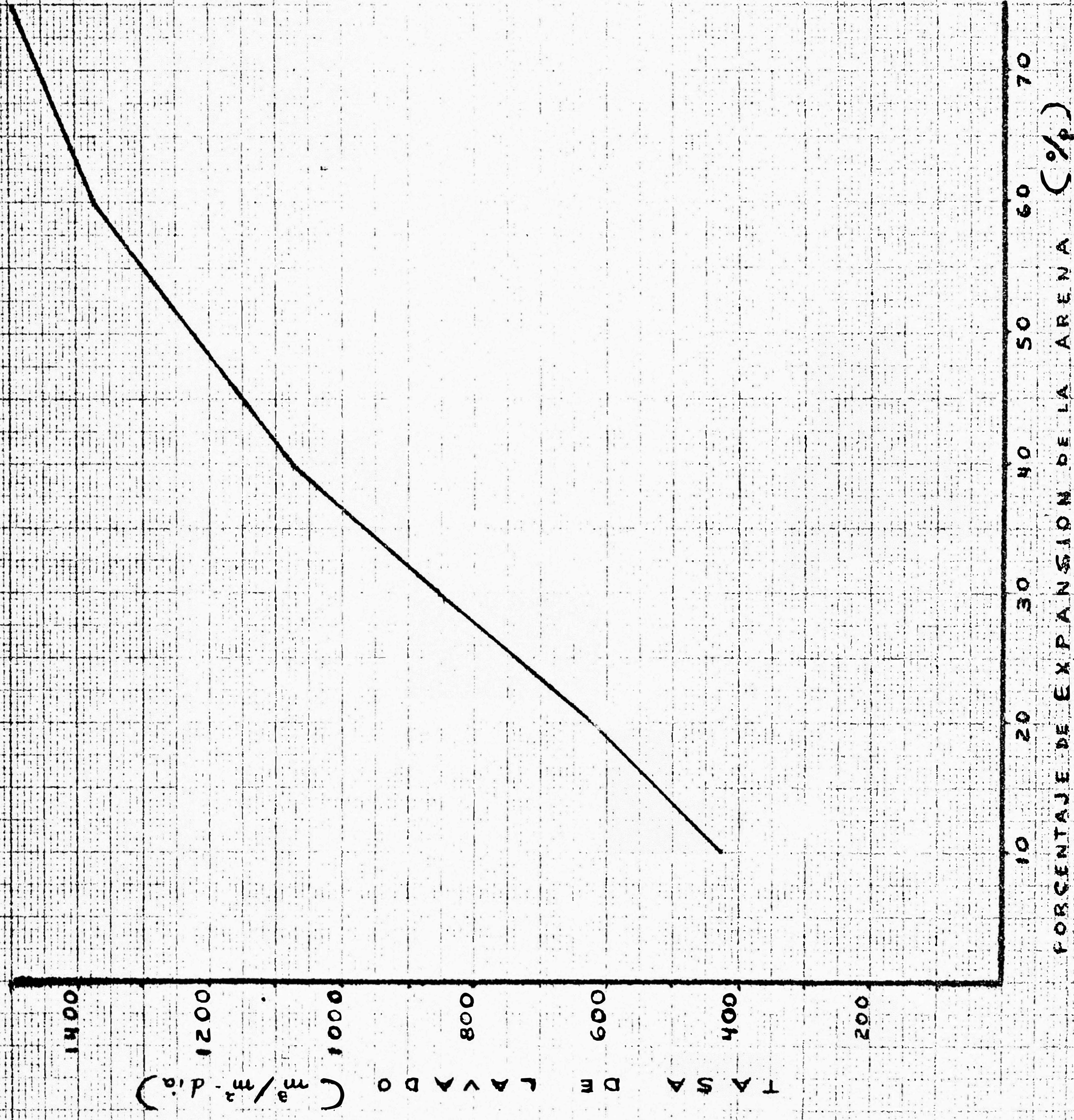
CUADRO IV - 2-2

CARACTERISTICAS DE LAVADO DE LOS
FILTROS DESCENDENTES 50% EXPANSION

TIEMPO MINUTOS	TASA DE FILTRACION m ³ /m ² /día				
	240	210	180	150	120
1 1/2	22	25	31	8	60
1	20	41	42	16	88
2	1500	55	1600	1120	5520
3	1060	2220	2000	700	1616
4	384	750	540	300	435
5	97	148	115	178	70
6	45	40	30	85	40
7	19	20	20	49	23
8	13	9.0	15	37	12
9	12	8.5	10	28	10
10	8.5	6.5	5	22	5
11	7.5			15	
12				6	
Tasa de lavado do m ³ /m ² /	950	1026	1000	1112	1224
Velocidad Ascensional cm/seg	1.10	1.20	1.17	1.30	1.43
% Utilizado	4.5	4.6	2.7	3.06	2.5
Duración de la carrera	16:30	18:00	33	49	67:30

(*) Tasa óptima de lavado 2.5 - 3%

EXPANSION PARA DIFERENTES TASAS DE LAVADO



3.- EFICIENCIA

La eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos en el filtro descendente varió entre el 50 y 99%, según la tasa aplicada y para diferentes calidades de agua afluente (Cuadro IV - 3-1). En la carrera de un filtro pueden ocurrir tres casos de relación pérdida de carga y turbidez efluente (Fig. IV - 3):

- 1.- Que la máxima turbiedad efluente permisible se produzca antes de que se alcance la máxima pérdida de carga $t_1 > t_2$.
- 2.- Que se produzca después que la máxima pérdida de carga $t_1 < t_2$.
- 3.- Que se produzca el mismo tiempo $t_1 = t_2$.

El caso 3, es aquel en el cual se optimiza la operación del filtro. En casi todas las carreras se presentó la pérdida de carga terminal mucho antes de que se produjera la irrupción de turbidez y, esto se debió a que casi todas las partículas quedaron retenidas en los cinco primeros centímetros superiores del lecho.

Mintz, propuso como índice de la carrera de filtración la relación:

t_1 = Período de protección efectiva del lecho.

t_2 = Período en el cual la pérdida de carga alcanza su máximo operacional.

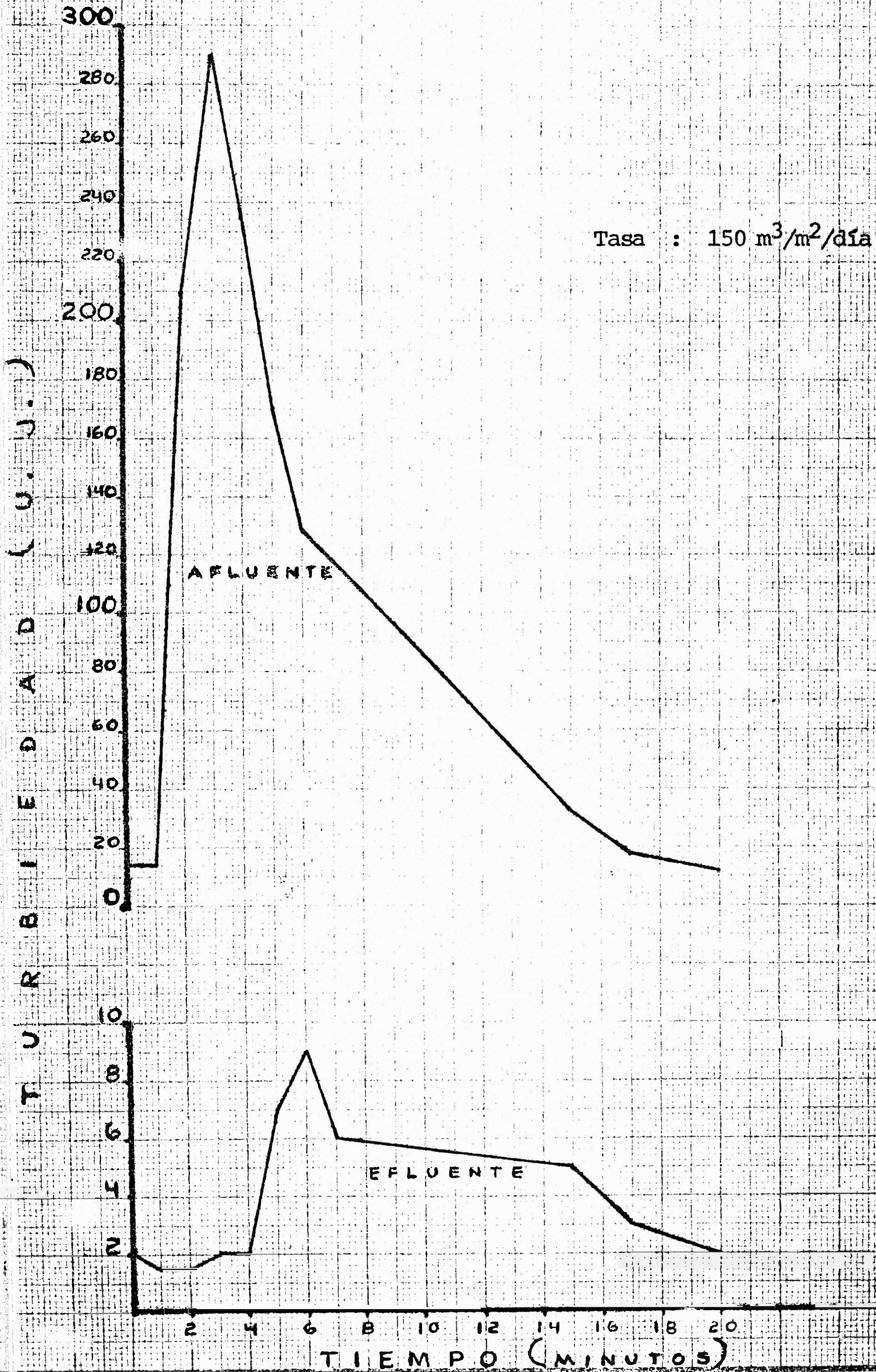
La relación t_1/t_2 representa el margen de seguridad con que el filtro opera. Cuanto mas grande sea t_1 con respecto a t_2 , mayor certeza se tendrá de que no habrá irrupción de turbiedad antes de que acabe la carrera del filtro. Desde el punto de vista práctico, lo más económico sería que t_1 sea igual a t_2 .

CUADRO IV - 3-1

EFICIENCIA EN LA REMOSION

SERIE	TASA m ³ /m ² /día	300	240	210	180	150	120
I	MAX	87.1	92.2	98.6			
	PROM	65.3	80.0	95.7			
	MIN	48.0	70.6	92.7			
II	MAX	84.2	90.8	99.8	99.6	98.9	
	PROM	65.0	78.0	96.8	93.9	91.2	
	MIN	34.2	56.5	92.0	82.5	69.4	
III	MAX	95.6	80.0	94.6	98.7	99.0	99.8
	PROM	67.4	72.7	88.1	92.1	87.2	92.1
	MIN	44.0	60.5	77.3	81.2	80.8	67.0

EFECCIO DE UNA PULSACION EN EL FILTRO DESCENDENTE



4.- CONCLUSIONES

- 1.- El filtro descendente produce un efluente de excelente calidad cuando se utilizan bajas velocidades de filtración ($150 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ o menos), para un afluente con una turbidez máxima de 20 UJ. y un promedio de 15 UJ.
- 2.- El filtro respondió en forma satisfactoria a irrupciones momentáneas de turbidez (300 UJ.) dando un efluente de 9 UJ. para una tasa de filtración de $150 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, Gráfico IV - 4-1.
- 3.- Buena respuesta a los cambios bruscos de velocidad de filtración o pulsaciones.
- 4.- Utilización de los primeros centímetros del lecho filtrante por lo que en la mayoría de experiencias primero se llegó a la pérdida de carga terminal que a la turbidez máxima efluente.
- 5.- La colocación de 20 cm. de arena torpedo de TE. 0.85 mm. y CU = 2 entre el lecho filtrante y la grava no favoreció sustancialmente la distribución del agua de lavado.

CAPITULO V - Superfiltro

1.- ANTECEDENTES

Los superfiltros son una nueva generación de instalaciones de tratamiento de agua, aplicable a pequeñas comunidades con apreciables ventajas técnicas económicas.

Estudios realizados en Brasil, Argentina y Venezuela, han permitido el desarrollo de esta nueva técnica. La idea del Superfiltro surgió como consecuencia de las observaciones del comportamiento de los filtros rusos de flujo ascendente o clarificadores de contacto. Estos filtros han demostrado que pueden realizar con eficiencia la floculación, clarificación y filtración del agua, evitando así la necesidad de tratamientos previos en floculadores y decantadores, ahorrando además aproximadamente el 30% de productos químicos de los filtros descendentes convencionales de lecho fino que brindan una filtración mas segura y perfecta.

Basándonos en las experiencias realizadas por otros investigadores, decidimos probar separadamente un filtro ascendente y uno descendente, para ver la manera de hacerlos trabajar en serie y sin emplear ~~ningún~~ coagulante, es decir, que el tratamiento sería exclusivamente realizado por los mecanismos de la filtración.

2.- TASA DE APLICACION, PERDIDA DE CARGA Y TASA DE LAVADO.

2.1 Tasa de Aplicación

Con el objeto de conocer la tasa óptima de filtración, revisamos los resultados obtenidos para diferentes carreras de filtración en el filtro ascendente; utilizando como parámetros de decisión los siguientes:

- Calidad del efluente (no mayor de 20 UJ.).

- Pérdida de carga desarrollada (1 metro).
- Coeficiente de seguridad.
- Sensibilidad a las pulsaciones o aumentos bruscos de la velocidad de filtración

Luego de un minucioso exámen de las curvas llegamos a la conclusión que la tasa de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ cumplía con los dos primeros puntos pero se optó por las tasas de 150 y $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, que cumplían con todos los requisitos.

Al examinar las carreras realizadas por el filtro descendente utilizamos los siguientes parámetros.

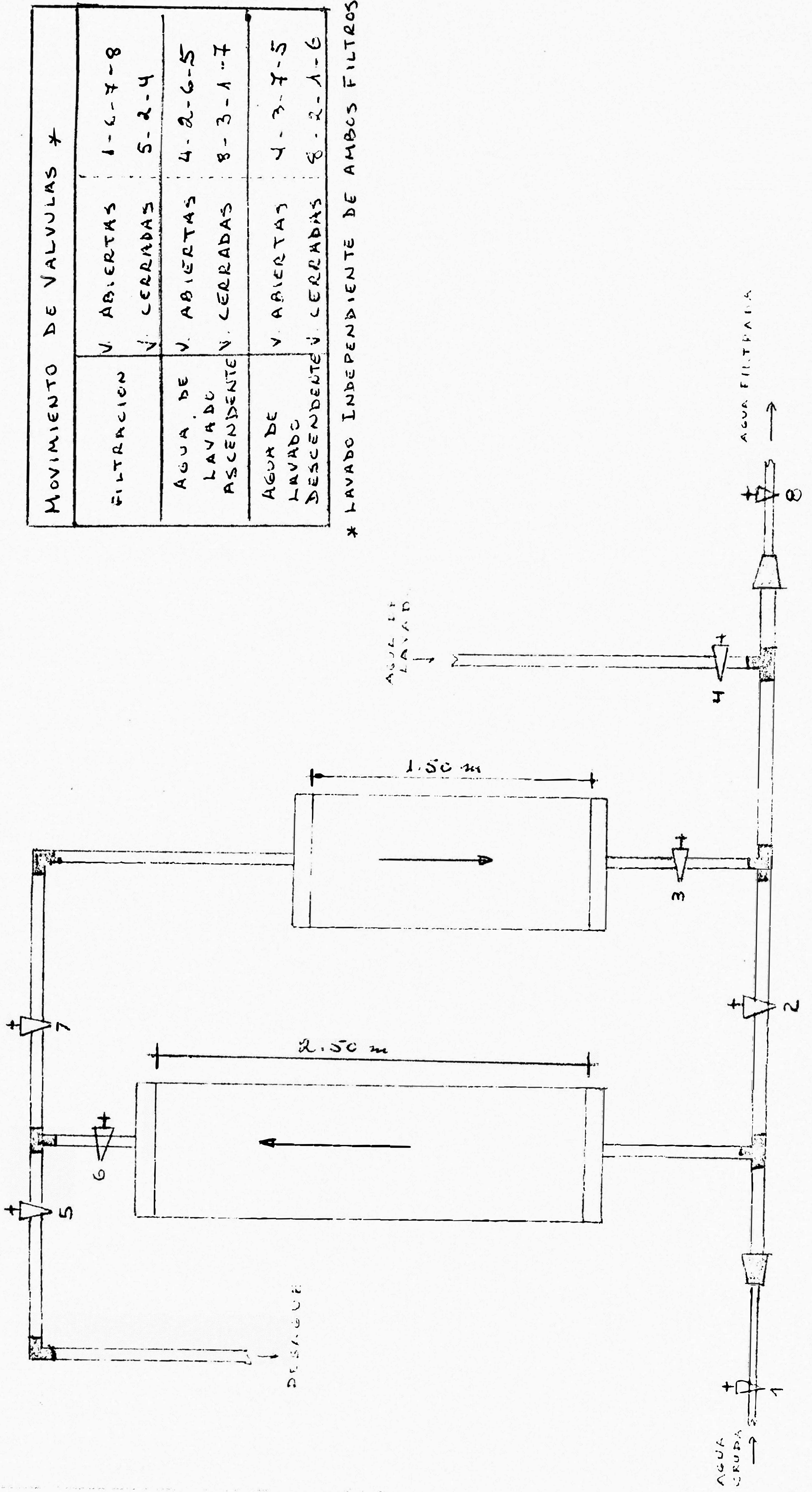
- Calidad del efluente (no mayor de 5 UJ.).
- Pérdida de carga terminal. (2 metros).
- Coeficiente de seguridad.
- Longitud de la carrera de filtración (45 horas mínimo).

Al examinar las curvas concluimos en que la tasa óptima para el filtro descendente se encontraba entre 150 y $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.

Para conocer a ciencia cierta las características del superfiltro o filtro ascendente-descendente, desarrollamos dos carreras de filtración a tasas de 150 y $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, con buenos resultados.

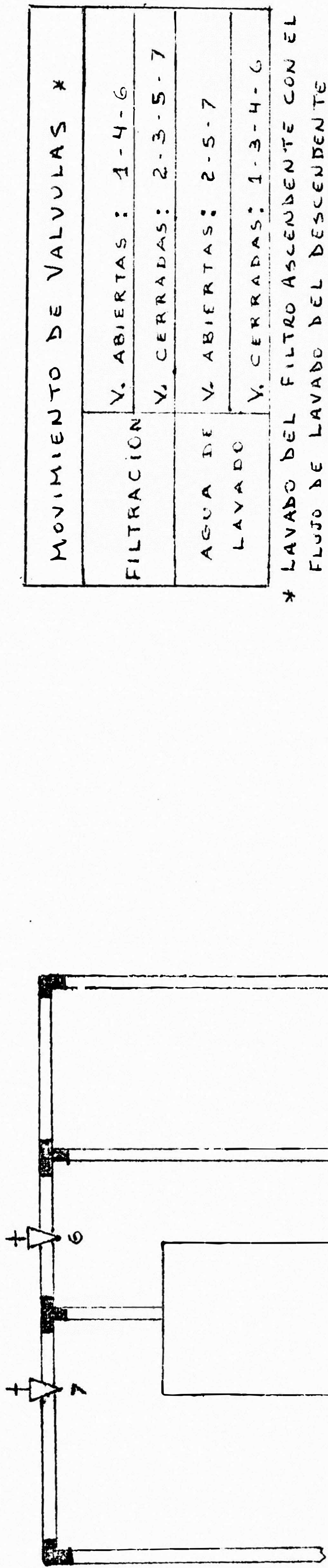
2.2 Pérdida de Carga

Como la pérdua de carga en el filtro ascendente no llegó en las pruebas al máximo permisible de 1 m. , el diseño del superfiltro estaría regido por la pérdua de carga terminal en el filtro descendente.



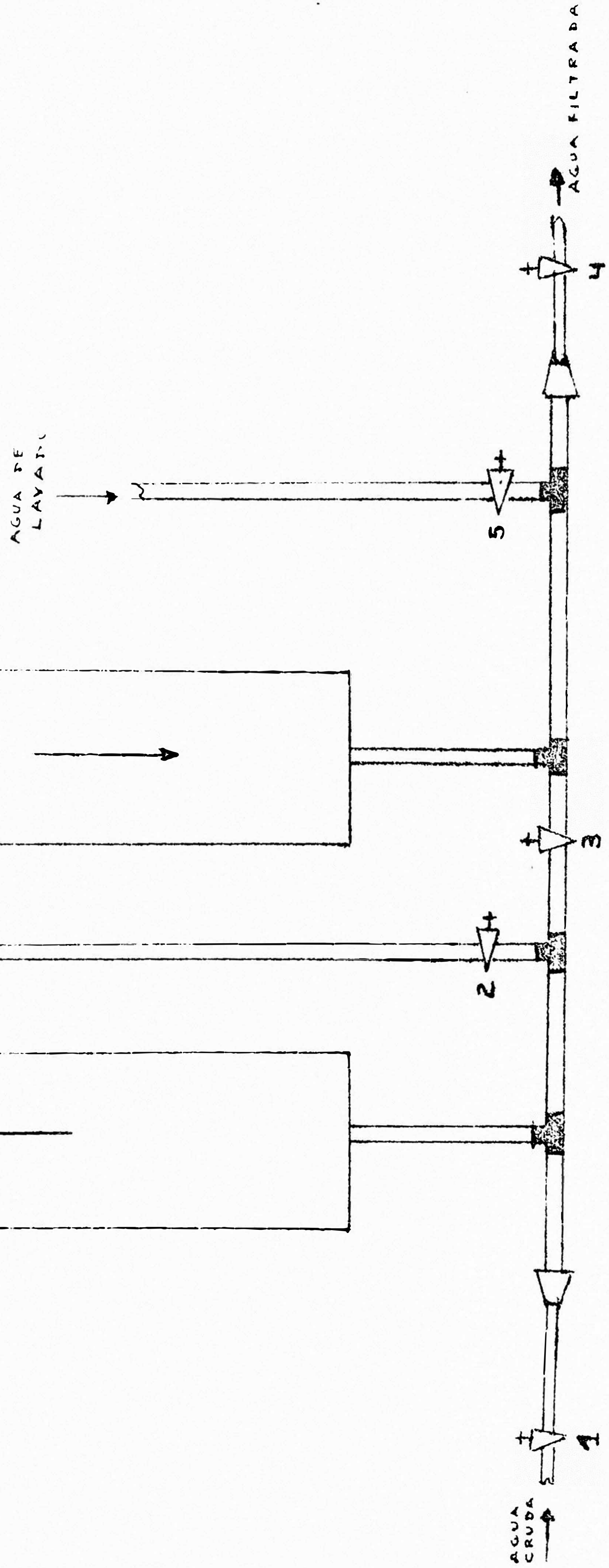
MOVIMIENTO DE VALVULAS *		
FILTRACION	V. ABIERTAS	1-6-7-8
	V. CERRADAS	5-2-4
AGUA DE LAVADO ASCENDENTE	V. ABIERTAS	4-2-6-5
	V. CERRADAS	8-3-1-7
AGUA DE LAVADO DESCENDENTE	V. ABIERTAS	4-3-7-5
	V. CERRADAS	8-2-1-6

* LAVADO INDEPENDIENTE DE AMBOS FILTROS



MOVIMIENTO DE VALVULAS *	
FILTRACION	V. ABIERTAS: 1-4-6
	V. CERRADAS: 2-3-5-7
AGUA DE LAVADO LAVADO	V. ABIERTAS: 2-5-7
	V. CERRADAS: 1-3-4-6

* LAVADO DEL FILTRO ASCENDENTE CON EL FLUJO DE LAVADO DEL DESCENDENTE



2.3 Tasa de lavado

En los estudios realizados en Brasil, determinaron que dada la gran cantidad de agua de lavado requerida por este sistema, podrían utilizar la misma para el filtro descendente como para el ascendente en los filtros a presión, disminuyendo así el porcentaje de agua de lavado requerido, nosotros decidimos utilizar agua cruda para lavar el lecho ascendente y luego lavar con agua filtrada con lo que se logra una substancial reducción en el porcentaje de agua de lavado.

Para el filtro ascendente, dada su granulometría gruesa, es difícil producir una gran expansión del lecho, para una expansión del orden del 25% se requirió una tasa entre 1650 y 1700 m³/m²/día, con un consumo del 4% del filtrado, esta tasa solo es necesaria durante unos minutos para expandir el lecho compactado, luego se puede reducir la tasa de lavado.

En el descendente para producir una expansión del 50% se requiere una tasa entre 950 y 1050 m³/m²/día, con un consumo del 3% del filtrado.

Es decir, en el lavado de ambas unidades se consume el 7% del filtrado, este se realizaría toda vez que en el filtro descendente se llegue a la máxima pérdida de carga o a la máxima turbidez (5-U.) permitida. Para las tasas entre 150 y 120 m³/m²/día aproximadamente cada 45 horas, dependiendo de la calidad de agua afluente.

3.- EFICIENCIA

Las eficiencias en remoción de turbidez para la dupla o superfiltro fueron:

TASA m ³ /m ² /día	PORCENTAJE DE TURBIDEZ REMOVIDO		
	MAXIMO	PROMEDIO	MINIMO
150	99.6	97.2	93.3
120	99.92	98.7	97.3

Para hallar la eficiencia del superfiltro en la remoción de bacterias se analizaron dos muestras tomadas para una tasa de filtración de 150 m³/m²/día y para dos condiciones; para la primera se tomó a una hora de haber iniciado la carrera y, la segunda se tomó a cinco horas, los resultados son los que siguen:

TIEMPO Horas	N M P DE BACTERIAS EN 100 ml.			% REMOVIDO
	Agua Cruda	Efluente Ascendente	Efluente Descendente	
1	7900	490	70	99.1
5	8300	500	75	99.0

Como se puede observar, la eficiencia en remoción de bacterias poco varia en el tiempo, a diferencia de la remoción de turbide-.

Otro parámetro significativo en un filtro es la remoción de color, para hallar esto, realizamos tres carreras de filtración utilizando arcilla muy colorida de la selva, la eficiencia en la remoción se muestra a continuación:

EFICIENCIA EN LA REMOSION DEL COLOR

TASA m ³ /m ² /día		% REMOSION DE COLOR
300	MAX PROM MIN	96.7 92.4 88.8
240	MAX PROM MIN	97.0 91.8 77.8
180	MAX PROM MIN	95.1 93.4 90.7

SUPERFILTRO

CARRERA No.

Fecha : 15.01.80

pH : 7.97

Tasa : 150 m³/m²/día

A S C E N D E N T E					D E S C E N D E N T E					HORA	TIEMPO	TEMP.
TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	Hf		TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	Hf				
Afluente	Efluente		Hg.	H ₂ O	Afluente	Efluente		Hg.	H ₂ O			
90	28	69.0	1.9	25.84	0.3	99.0	1.9	25.84	11:30	0:00	28.5°	
103	16	84.4	1.9	25.84	0.75	95.3	2.1	28.56	13:15	1:45	28.0°	
160	20	87.5	2.0	27.2	2	90.0	2.2	27.5	15:30	4:00	27.5°	
189	40	78.8	2.1	28.56	5	87.5	2.3	31.28	17:30	6:00	27.0°	
170	40	76.5	2.1	28.56	5.5	86.2	2.4	26.5	18:30	7:00	26.5°	
175	37	78.8	2.3	31.28	5	86.5	2.8	38.08	21:00	9:00	25.0°	
134	29	78.3	2.3	31.28	5	83.0	2.9	39.44	23:30	11:30	25.0°	
120	28	76.7	2.3	31.28	6	78.6	3.0	40.8	2:30	14:30	23.0°	
130	22	83.0	2.4	32.64	6	73.0	3.1	42.16	6:30	19:00	23.0°	
88	14	84.0	2.4	32.64	2.5		3.2	43.52	8:30	21:00	24.0°	
65	7	89.2	2.4	32.64	1	85.0	3.3	44.88	11:00	23:30	24.5	
93	18	81.7	2.4	32.64	1.5	91.7	3.4	46.24	13:00	25:30	25.0°	
132	22	83.3	2.5	34.0	1.5	93.2	3.6	48.96	15:30	28:00	26.0°	
155	20	87.1	2.6	35.36	3.5	82.5	4.1	55.76	17:30	30:00	26.0°	
200	45	77.5	2.8	38.08	8	82.2	5.2	70.72	19:30	32:00	24.5°	
118	26	78.0	2.8	38.08	5	80.8	5.6	76.16	21:30	34:00	23.0°	
90	13	85.5	2.9	39.	3.8	97.1	6.1	82.96	23:30	36:00	23.0°	
85	30	65.0	3.0	40.8	1.5	95.0	6.6	89.66	1:30	38:00	23.0°	
72	18	70.9	3.0	40.8	1.5	91.7	6.9	93.84	2:30	39:00	23.0°	
62	16	74.2	3.1	42.16	2.0	87.5	7.6	103.36	5:30	42:00	25.0°	
204	55	73.0	3.1	42.16	7.5	86.4	8.9	121.04	8:00	44:30	27.5°	
180	72	60.0	3.1	42.16	12	83.3	9.9	134.64	10:00	46:30	28.0°	

SUPERFILTRO

CARRERA No. 2

Fecha : 24.01.80

pH : 7.9

Tasa : 120 m³/m²/día

ASCENDENTE					DESCENDENTE					HORA	TIEMPO	TEMP.
TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	Hf		TURBIDEZ UJ.		% REMOVIDO	Hf				
Afluente	Efluente		Hg.	H ₂ O	Afluente	Efluente		Hg.	H ₂ O			
110	18	83.6	1.8	24.48		2.5	86.1	2.1	28.56	14:30	0:00	25.0°
92	18	80.4	1.8	24.48		2.5	86.1	2.1	28.56	16:00	1:30	25.5°
98	5	95.0	2.0	27.2		1.5	70.0	2.1	28.56	18:00	3:30	24.5°
127	10	92.4	2.1	28.56		1.5	85.0	2.4	32.64	21:00	6:30	21.5°
109	9.5	91.3	2.2	29.92		1.5	84.2	2.6	35.36	23:00	8:30	22.0°
175	8.75	95.0	2.3	31.28		1.5	82.9	2.7	36.72	1:00	10:30	21.5°
166	7.5	95.5	2.5	34.00		0.75	90.0	2.8	38.08	3:30	13:00	20.5°
180	10	94.4	2.6	35.36		0.5	95.0	3.0	40.8	7:00	16:30	22.5°
132	10	92.4	2.6	35.36		0.25	97.5	3.1	42.16	9:00	18:30	23.0°
125	2	98.4	2.7	36.72		0.25	87.5	3.1	42.16	11:00	20:30	24.0°
189	1	99.5	2.7	36.72		0.25	75.0	3.2	43.52	13:00	22:30	27.0°
160	0.75	99.5	2.8	38.08		0.25	67.0	3.8	51.68	16:00	25:30	26.0°
151	5.0	96.7	2.8	38.08		0.25	95.0	3.8	51.68	18:00	27:30	24.0°
135	6.5	95.2	3.0	40.8		0.1	98.5	4.0	54.4	21:00	30:30	22.5°
149	6.5	95.6	3.0	40.8		0.1	98.5	4.1	55.76	23:00	32:30	22.5°
140	11	92.1	3.2	43.52		0.25	97.7	5.4	73.44	1:30	41:00	22.0°
130	15	88.5	3.4	46.24		0.25	98.3	5.5	74.8	9:30	43:00	23.0°
135	9	93.3	3.5	47.6		0.1	98.9	5.6	76.16	11:30	45:00	26.0°
135	5.5	95.9	3.5	47.6		0.1	99.8	5.7	77.52	13:00	46:30	27.0°
138	10	92.7	3.6	48.96		0.1	99.0	6.2	84.32	17:00	50:30	26.0°
105	11	89.5	3.8	51.68		0.1	99.1	6.8	92.48	19:00	52:30	24.0°
140	14	90.0	4.0	54.4		0.1	99.3	7.8	106.08	22:00	55:30	23.0°
135	22	83.7	4.0	54.4		0.1	99.5	8.8	119.68	24:00	57:30	23.0°
120	18	85.0	4.0	54.4		0.1	99.7	10.4	141.44	3:30	61:00	22.0°
120	32	73.3	4.0	54.4		0.1	99.7	12.2	165.92	6:30	64:00	23.0°
128	38	70.3	4.0	54.4		0.1	99.7	13.2	179.52	8:30	66:00	25.0°
160	42	73.7	4.2	57.12		0.5	98.8	15.5	210.8	10:00	67:30	26.0°

4.- CONCLUSIONES

- 1.- El sistema de superfiltros puede ser muy económico, tanto en el costo de construcción como en el costo de operación, ya que, no requiere coagulantes utilizados en la decantación tradicional.
- 2.- Son aplicables en aguas con turbideces promedio entre 100 y 200 UJ. y bajo color.
- 3.- Requieren un 7% del agua filtrada para el lavado.
- 4.- Los aumentos bruscos de velocidad disminuyen la carrera del filtro, ya que, al provocar una pulsación, el filtro ascendente desprende una parte de los sólidos retenidos y crea un fuerte amento en la turbidez del efluente, que debe ser amortiguado por el filtro descendente.
- 5.- Con ayuda del prefiltro de piedras puede un agua tratarse con 650 UJ. de turbidez, ya que, el filtro de piedras remueve aproximadamente el 70% de turbidez.
- 6.- La operación de la unidad es muy sencilla y no requiere de mano de obra especializada.
- 7.- El funcionamiento del superfiltro está supeditada a la pérdida de carga del filtro descendente y a la turbidez efluente.
- 8.- Este sistema no requiere del empleo de corriente eléctrica y necesita muy poco espacio para su instalación y operación.
- 9.- Se recomienda realizar pruebas complementarias utilizando coagu-

lantes y dosificandolos en diferentes puntos, antes y entre los filtros para verificar como aumenta la eficiencia de la unidad y hasta en que condiciones extremas se puede emplear.

CAPITULO VI - Aplicaciones

El sistema de Superfiltros ha sido concebido para emplearse en dos tipos de instalaciones:

- Filtros de Presión
- Filtros de Gravedad

En el presente trabajo nos ocuparemos de los filtros a presión, ya que, éstos se acomodan a los requerimientos de las pequeñas poblaciones rurales.

1.- ASPECTOS TECNICOS

Parámetros de Diseño

<u>CARACTERISTICAS</u>	<u>ASCENDENTE</u>	<u>DESCENDENTE</u>
Tasa de Filtración	120 - 180 m ³ /m ² /día de pref. menor a 150	120 - 180 m ³ /m ² /día de pref. menor a 150
Granulometría: - Altura de lecho de arena - TE - CU - Altura del lecho de grava 1 1/2" - 1/4"	1.50 m. 0.85 mm. ≤ 2.0 0.35 cm.	0.60 m. 0.55 mm. = 1.7 0.35 cm.
Tasa de Lavado Tiempo de Lavado Porcentaje del filtrado utilizado en el lavado	1700 m ³ /m ² /día 12 minutos 4.5 %	850-1220 m ³ /m ² /día (30%-50% expansión) 10 minutos 2.5 %
Turbidez máxima	Hasta 200 UJ. Preferentemente 150 UJ	20 UJ 10 UJ

La ~~pérdida~~ pérdida de carga en las unidades de filtración será controlada por ~~manómetros~~ manómetros calibrados para el rango de presión al que van a trabajar.

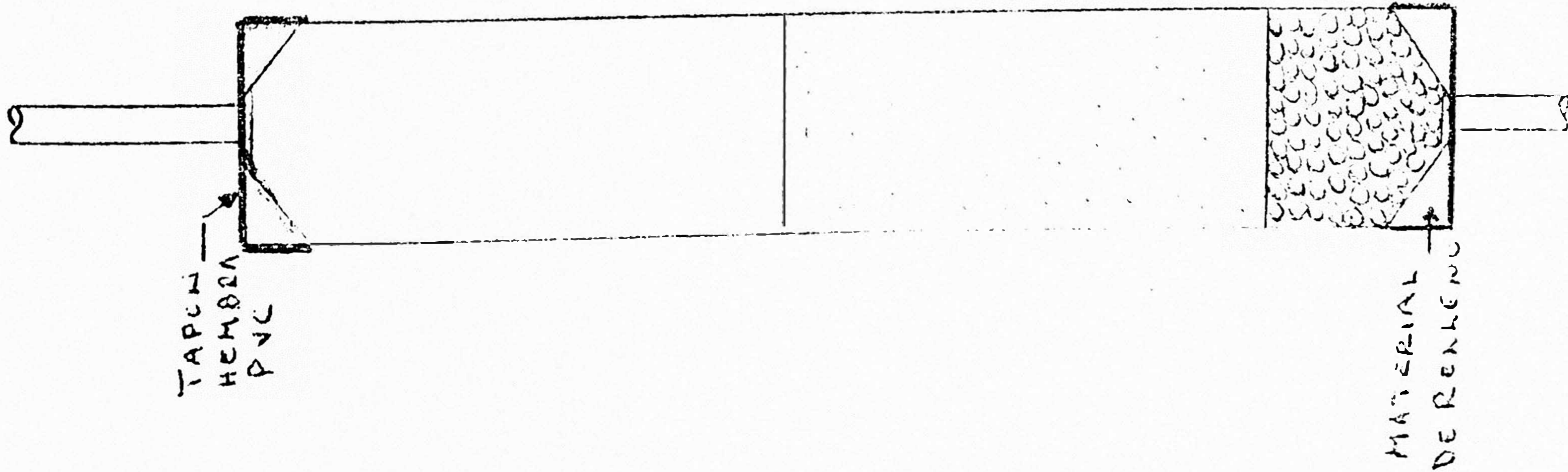
La pérdida de carga final considerada en el filtro ascendente será de 1.00 m. y la pérdida de carga terminal del filtro descendente será de 2.50 m., es decir, que entre las dos unidades se tendrá una pérdida de carga final en la arena de 3.50 m. de carga, adicionándole a esta la pérdida de carga debida a la entrada y salida de los filtros y la de los accesorios, lo que nos dá una pérdida de carga final del sistema de 6.00 m.

El gasto instantáneo, es decir, la velocidad de filtración y la tasa de lavado, deberán ser controlados por medio de un rotámetro debidamente calibrado o por algún otro dispositivo Ad-Hoc.

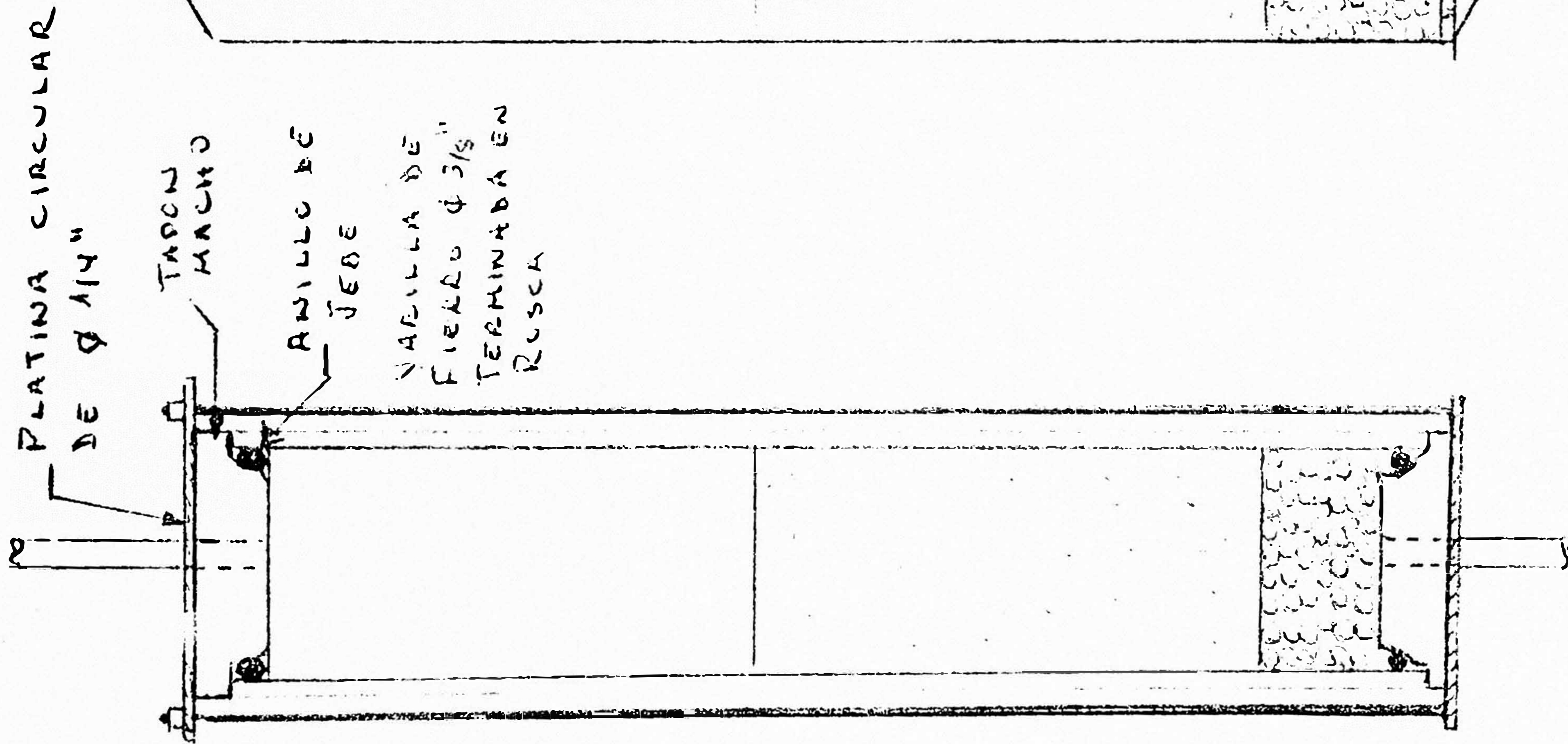
El diseño de los accesorios de entrada y de salida de los filtros estarán de acuerdo a las condiciones propias de cada problema.

Se dotará a las unidades de un dispositivo adecuado para lograr una distribución pareja del flujo de lavado (placa perforada que soporte la grava).

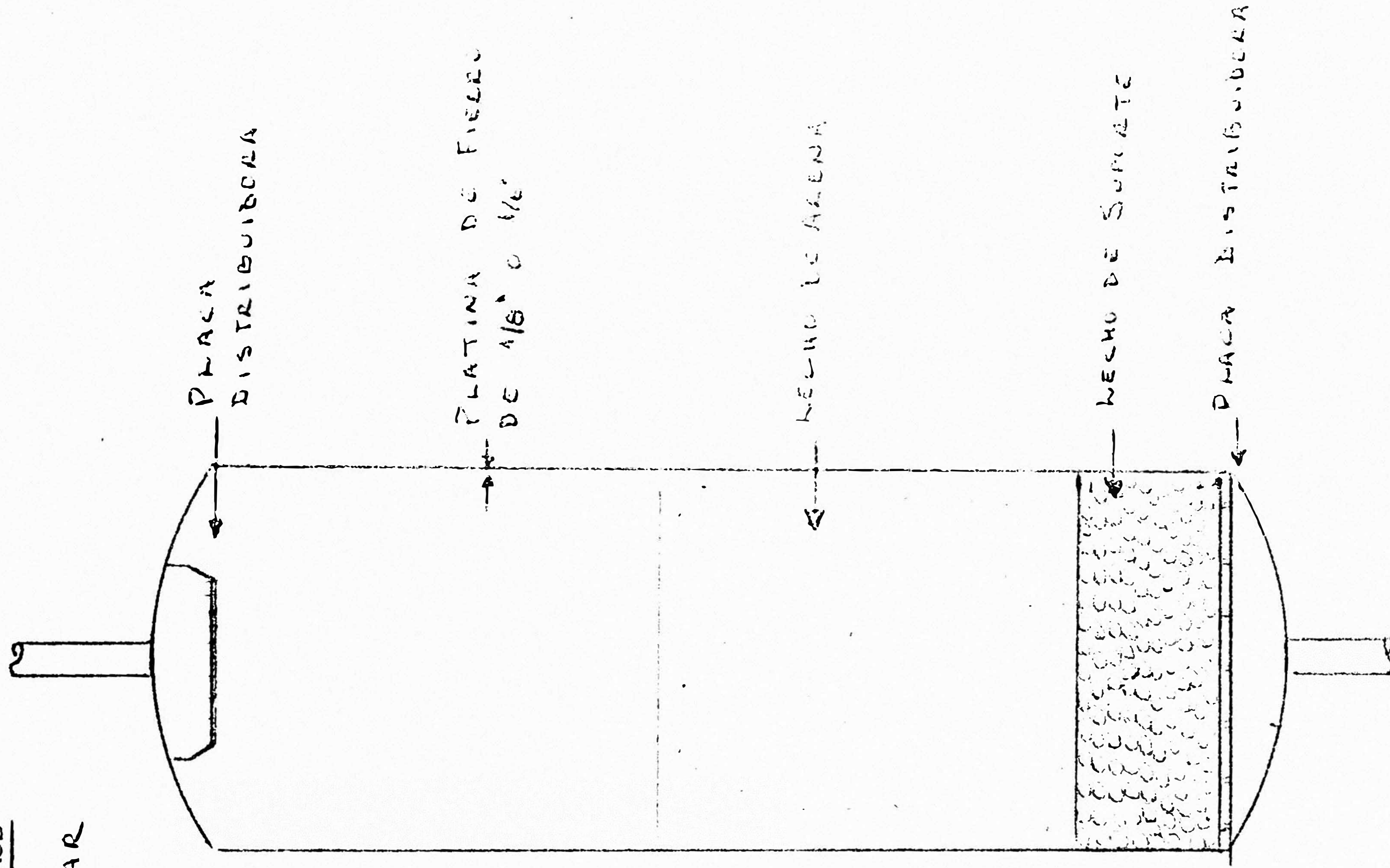
MATERIALES EMPLEADOS EN LOS SUPERFILTROS



12" PVC

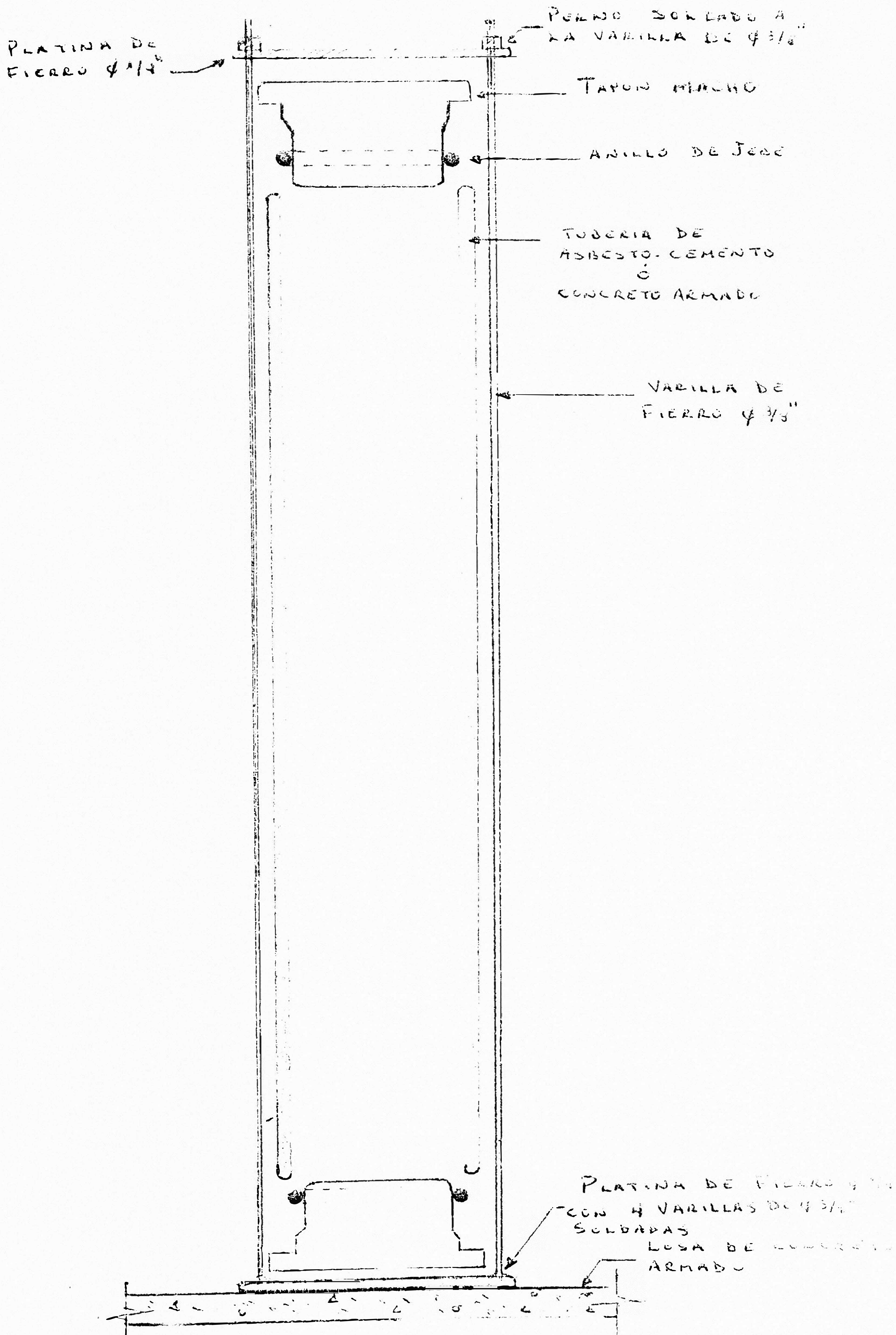


12"-24" Asbesto Cemento
12"-26" Concreto Armado

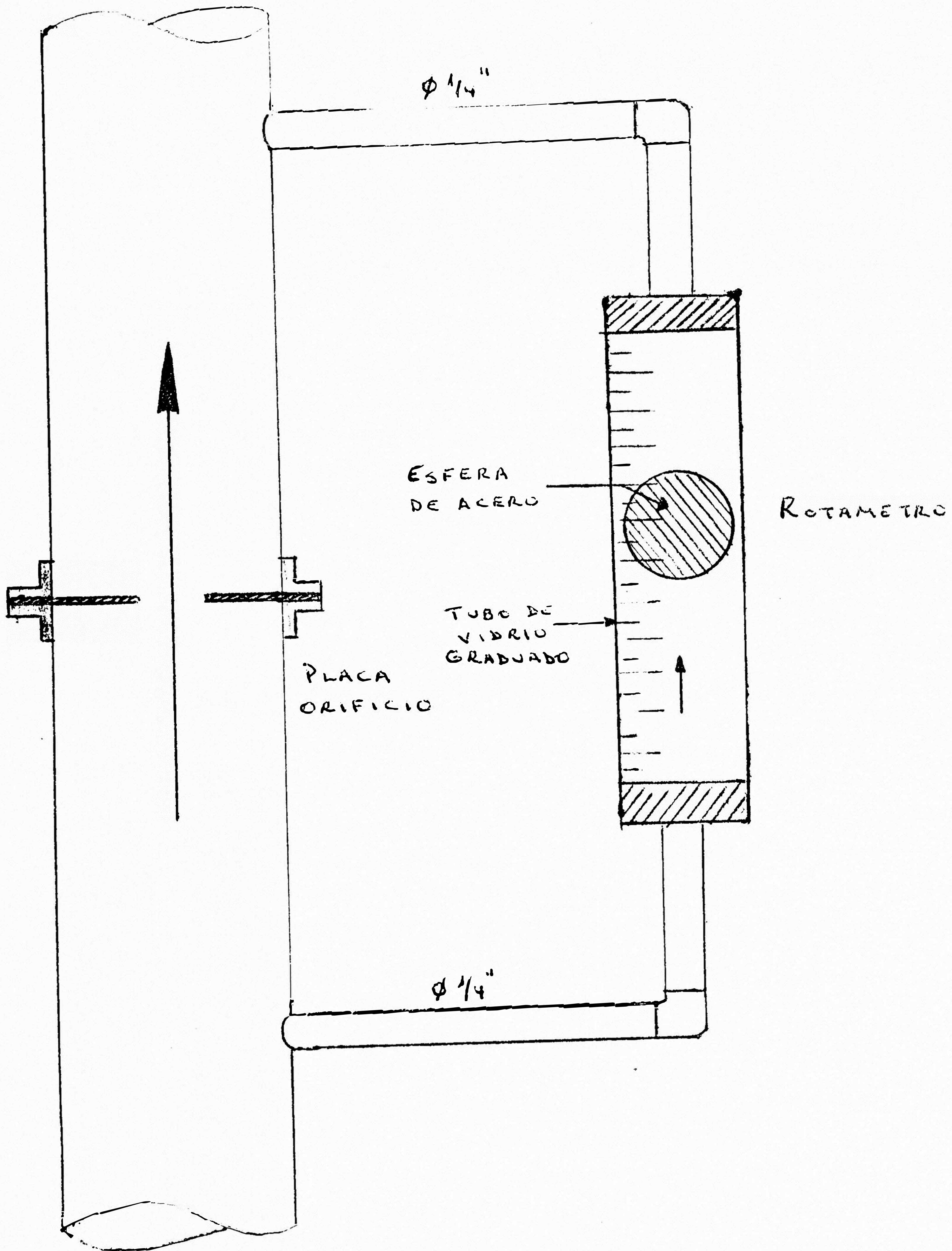


22"-28" Plancha de Fierro

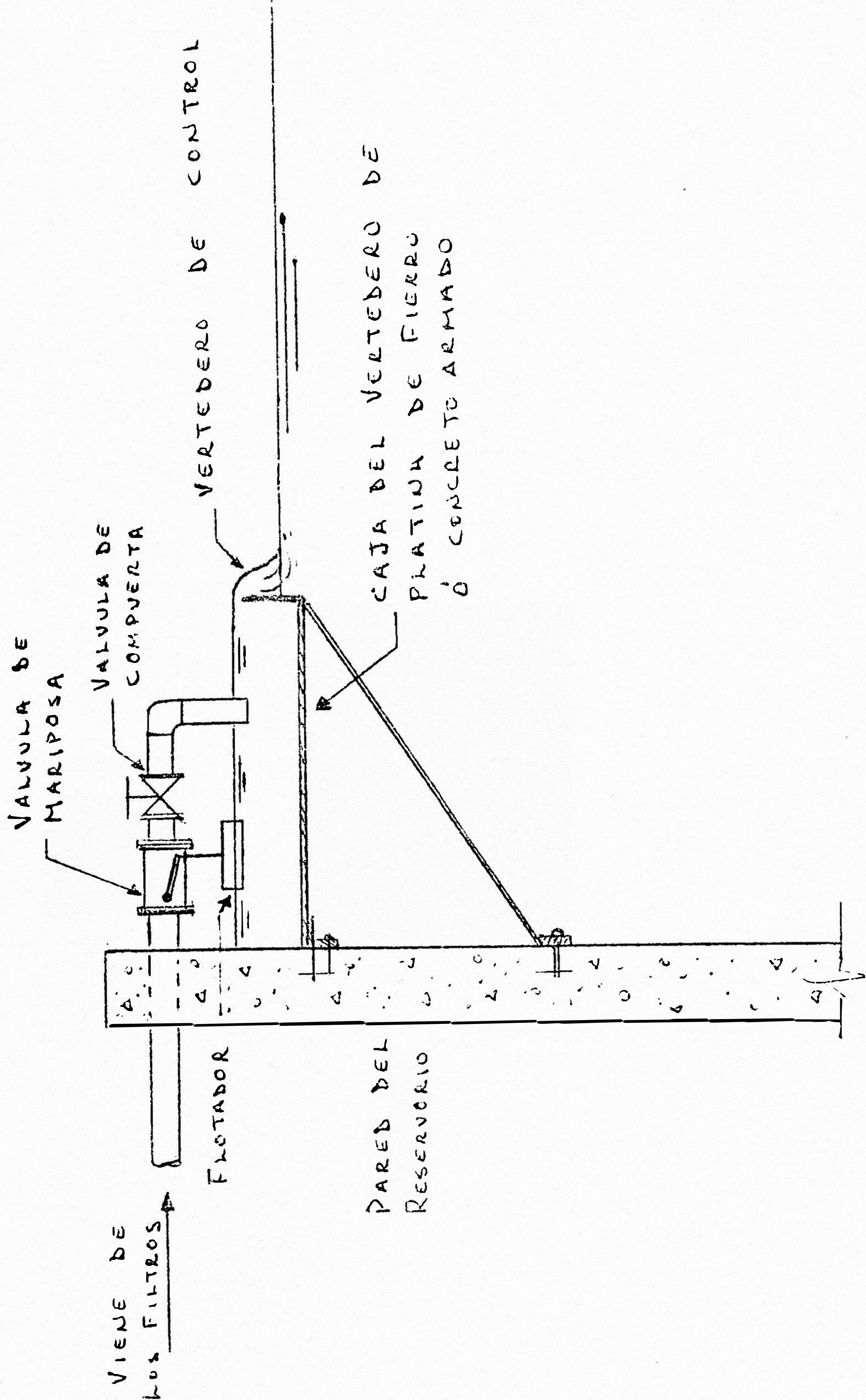
SISTEMA DE CIERRE PARA TUBERIAS DE ASBESTO-CEMENTO Y CONCRETO ARMADO.



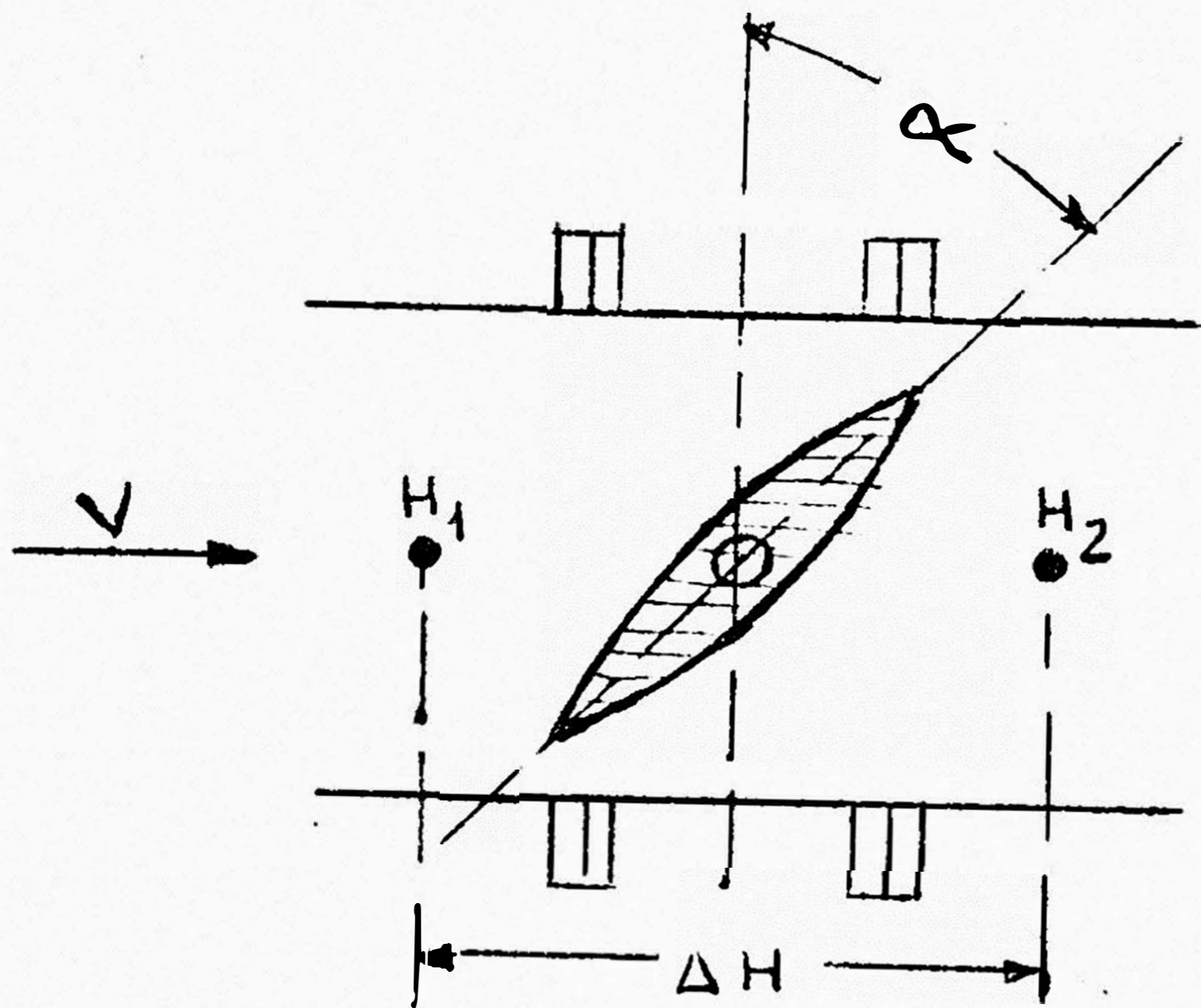
MEDIDOR DE GASTO INSTANTANEO (ROTAMETRO)



DETALLE DEL CONTROLADOR DE GASTO DEL SUPERFILTRO



PERDIDA DE CARGA EN VALVULA DE MARIPOSA



ECUACIONES

$$Q = C_f D^2 \Delta H$$

$$H = k \frac{v^2}{2g}$$

$$v = \frac{2g \Delta H}{k}$$

$$v = C_f \Delta H$$

Q = flujo

C_f = Coeficiente de flujo

D = Diámetro de la válvula

ΔH = Pérdida de carga a través de la válvula

v = Velocidad

k = Coeficiente de la carga de velocidad

g = 981

VALORES DE C_f y k

Angulo =	C_f	k
0°	0	inf.
10°	.032	976
20°	.079	160
<hr/>		
25°	.108	85.7
30°	.145	49.6
35°	.176	32.3
<hr/>		
40°	.215	21.6
45°	.276	13.1
50°	.381	6.89
<hr/>		
55°	.518	3.94
60°	.646	2.40
65°	.816	1.50
<hr/>		
70°	1.011	0.978
75°	1.220	0.672
80°	1.370	0.533
<hr/>		
85°	1.475	0.460
90°	1.580	0.401

CUADRO VI - 1

CARACTERISTICAS DEL SUPERFILTRO : AGUA DE LAVADO Y VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

DIAMETRO	AREA cm ²	VOLUMEN FILTRADO lt/día	AGUA DE LAVADO lt/día	VOLUMEN UTIL lt/día	POBLACION SERVIDA	VOLUMEN DEL RESERVORIO PARA AGUA DE LAVADO m ³	VOLUMEN DE REGULACION POR DIA 30% m ³	VOLUMEN TOTAL DEL RESERVORIO m ³
12"	707	9,543	334	9,209	100	668	2,763	5.0
18"	1,640	22,147	775	21,372	225	1,550	6,412	10.0
22"	2,452	33,108	1,159	31,949	330	2,318	9,565	15.0
24"	2,919	39,372	1,378	37,994	400	2,756	11,398	16.0
26"	3,317	44,775	1,567	43,208	450	3,134	12,962	18.0
28"	3,973	53,636	1,877	51,759	540	3,754	15,528	22.0

(*) Tasa de Filtración : 135 m³/m²/día

(*) Dotación : 80 lt/hab/día

CUADRO VI - 2

DIAMETRO DE ACCESORIOS REQUERIDOS EN LOS SUPERFILTROS

∅ DIAMETRO	LAVADO								FILTRACION						
	ASCENDENTE				DESCENDENTE				AFLUENTE				EFLUENTE		
	VOL. lt	Q lt/seg	∅	Hf cm/m	VOL. lt	Q lt/seg	∅	Hf cm/m	Q lt/seg	∅	Hf cm/m	V m/seg	∅	Hf cm/m	V m/seg
12	763	1.06	1 1/2"	2.2	573	0.95	1 1/2"	2.0	0.11	1/2"	7.0	0.7	3/4"	1.4	0.39
18	1772	2.46	2 "	3.8	1329	2.21	2 "	2.75	0.26	1 "	1.6	0.5	1 "	1.6	0.5
22	2650	3.68	2 1/2"	2.2	1987	3.31	2 1/2"	1.80	0.38	1 "	3.0	0.7	1 "	3.0	0.7
24	3150	4.38	2 1/2"	2.8	2362	3.94	2 1/2"	2.5	0.46	1 "	5.0	0.9	1 1/2"	0.55	0.38
26	3582	4.975	2 1/2"	4.5	2687	4.48	2 1/2"	3.0	0.52	1 "	6.5	1.0	1 1/2"	0.7	0.4
28	4291	6.0	2 1/2"	5.5	3218	5.36	2 1/2"	4.6	0.62	1 1/2"	0.4	0.5	1 1/2"	0.9	0.5

- (*) Tasa de filtración : 135 m³/m²/día
- (*) Lavado filtro ascendente : 12 minutos
- (*) Lavado filtro descendente : 10 minutos
- (*) Pérdida de carga permisible en tuberías : 10%

2.- ASPECTOS ECONOMICOS

Los Superfiltros de presión pueden construirse de varios materiales como: Tuberías de PVC, Asbesto-Cemento, Concreto Armado y Plancha de Hierro, dependiendo del diametro de la unidad, existencia de materiales y costo del mismo. Los Cuadros VI - 3 y VI - 4, muestran los costos parciales y totales de las unidades y la gran incidencia del precio de los accesorios; aproximadamente entre el 30% y 70% del total, especialmente los precios de las válvulas que elevan el costo de la instalación. Los Superfiltros han aparecido como una alternativa económica de los actuales sistemas empleados en el tratamiento de agua para pequeñas poblaciones.

COMPARACION DE COSTOS PARA UNA
POBLACION DE 400 HABITANTES

PROCEDENCIA	COSTO
Superfiltro	S/.251,000.00 - S/.271,000
Patente Degremont para 300 - 500 Hab.	S/.1'500,000.00
Ministerio de Salud Sistema de Filtro Lento	S/.1'800,000.00

Como se aprecia en el Cuadro anterior, el costo del Superfiltro puede ser hasta la sexta parte de los sistemas convencionales de tratamiento de agua.

Dado a que el costo de los accesorios y especialmente el de las válvulas, constituyen un porcentaje importante del costo total de las unidades, es necesario minimizar el costo de estas, utilizando en lo posible diámetros mas pequeños que los requeridos, haciendo una comparación de costo contra pérdida de carga, el cuadro siguiente muestra la variación de costo de las válvulas según diámetro.

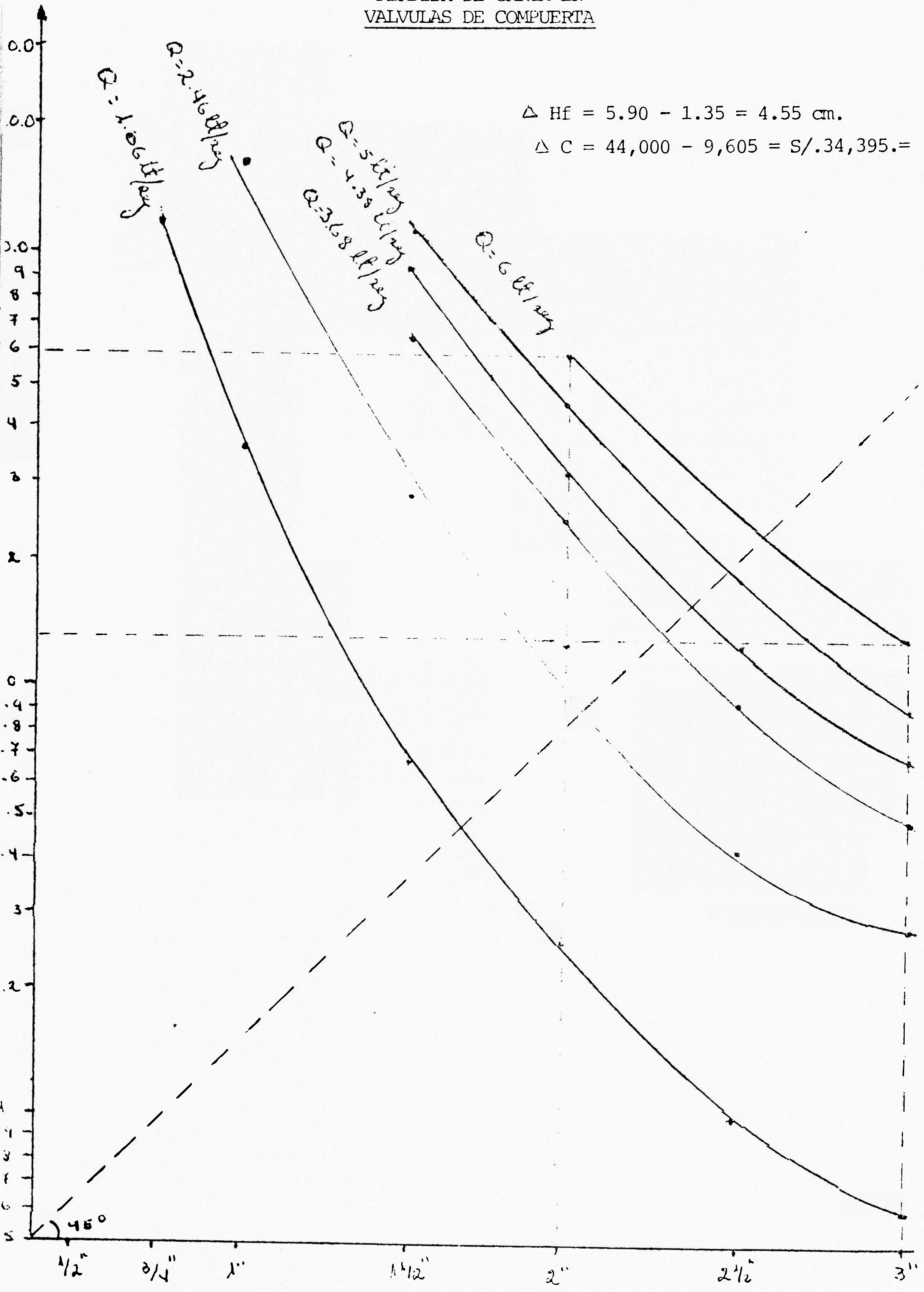
COSTO DE VALVULAS SEGUN DIAMETRO

DIAMETRO	VALVULAS DE COMPUERTA		VALVULAS DE GLOBO	
	Ø	COSTO S/.	LONG. EQUIV. METROS	COSTO S/.
1/2	798	0.09	2,449	5
3/4	1,238	0.14	3,183	8
1	1,650	0.18	5,757	10
1 1/2	6,134	0.28	11,238	15
2	9,605	0.36	17,629	20
* 2 1/2	38,622	0.42	40,015	25
* 3	44,000	0.55	58,922	30

- Las válvulas son de Clase II, salvo las (*) que son de Clase III.

El Cuadro anterior compara los costos de las válvulas de compuerta y de globo y la pérdida de carga que producen.

PERDIDA DE CARGA EN VALVULAS DE COMPUERTA



DIAMETRO DE LAS VALVULAS EN PULG.

CUADRO VI - 3

METRADO DE ACCESORIOS SEGUN DIAMETRO

ACCESORIO	∅	12"	∅	18"	∅	22"	∅	24"	∅	26"	∅	28"
Válvulas	3/4"	2,690	1"	3,300	1"	3,300	1 1/2"	12,268	1 1/2"	12,268	1 1/2"	12,268
	1"	9,900	2"	57,630	2"	57,630	2"	57,630	2"	57,630	2"	57,630
Codos 90°	1"	540	2"	1,520	2 1/2"	2,000	2 1/2"	2,000	2 1/2"	2,000	3"	3,120
Tees	1"	1,440	2"	4,320	2 1/2"	6,000	2 1/2"	6,000	2 1/2"	6,000	3"	11,560
Reducciones	1"-3/4"	320	2"-1"	1,040	2"-1"	1,200	2"-1 1/2"	1,300	2" 1 1/2"	1,300	2"-1 1/2"	1,300
Válvulas de purga de aire	1"	13,000	1"	13,000	1"	13,000	2 1/2"	13,000	2 1/2"	13,000	3"	13,000
Tubería PV&	1"	5,400	2"	7,400	2 1/2"	12,000	2 1/2"	12,000	2 1/2"	12,000	3"	14,600
Manómetros (2)	--	20,000	--	20,000	--	20,000	--	20,000	--	20,000	--	20,000
Rotámetro	--	6,500	--	6,500	--	6,500	--	6,500	--	6,500	--	6,500
TOTAL		59,720		114,710		121,630		130,698		130,698		140,600

CUADRO VI - 4

COSTO TOTAL DE LAS UNIDADES

∅	POBLACION SERVIDA	MATERIAL	COSTO DE LA UNIDAD	COSTO DE LOS ACCESORIOS	COSTO TOTAL
12"	100	Plástico PVC	135,000	59,720	194,720
		Asbesto-Cemento	38,000	59,720	97,720
18"	225	Asbesto-Cemento	96,000	114,710	210,710
		Concreto-Armado	75,000	114,710	189,710
22"	330	Plancha de Fierro	510,000	121,630	631,630
		Concreto-Armado	100,000	121,630	221,630
24"	400	Asbesto-Cemento	140,000	130,698	270,698
		Concreto Armado	120,000	130,698	250,698
26"	450	Concreto-Armado	125,000	130,698	255,698
28"	540	Plancha de Fierro	580,000	140,598	720,598

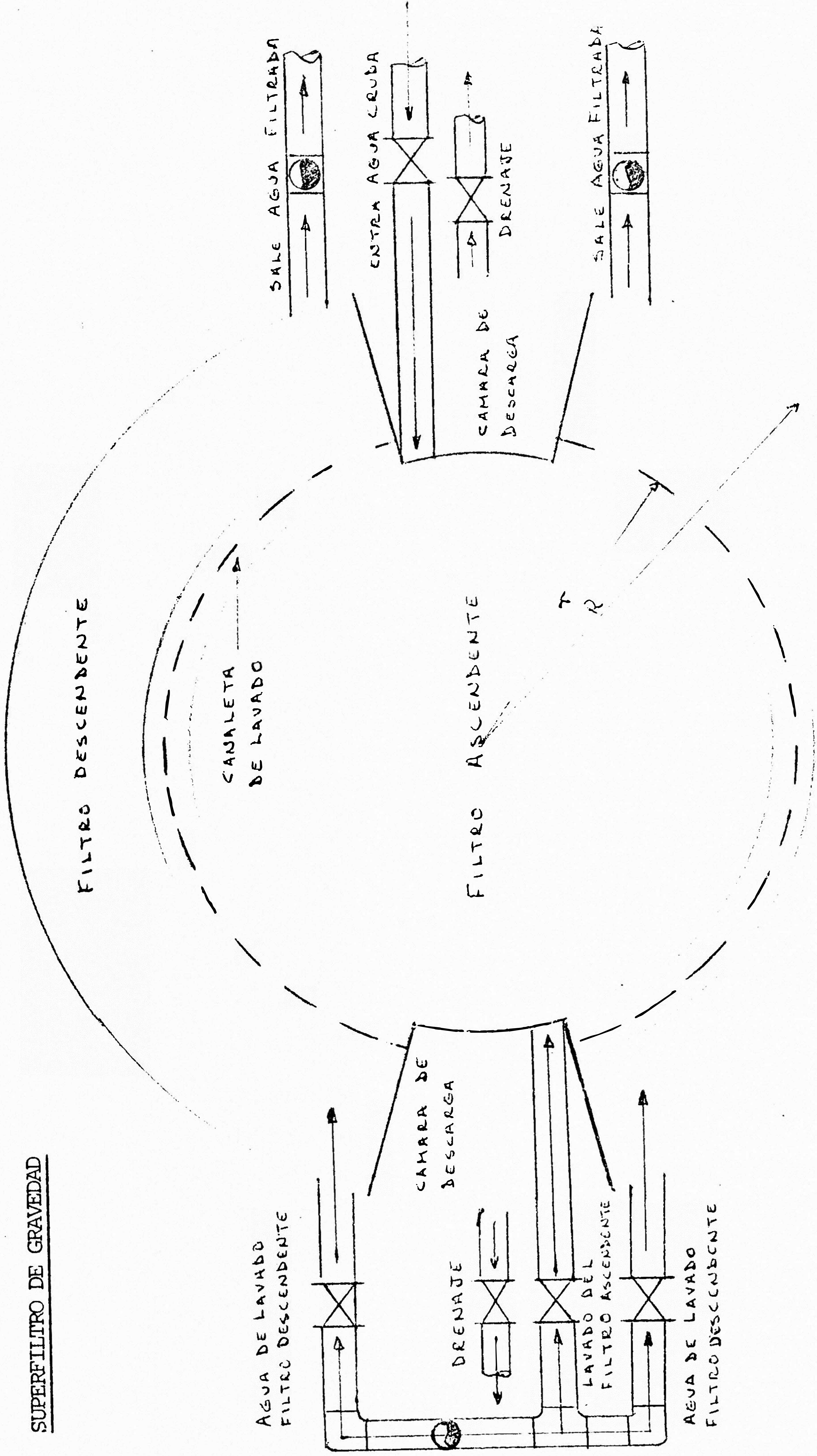
(*) Estos costos han sido calculados para Lima

DIMENSIONES DEL SUPERFILTRO DE GRAVEDAD

TASA DE FILTRACION : $120 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$

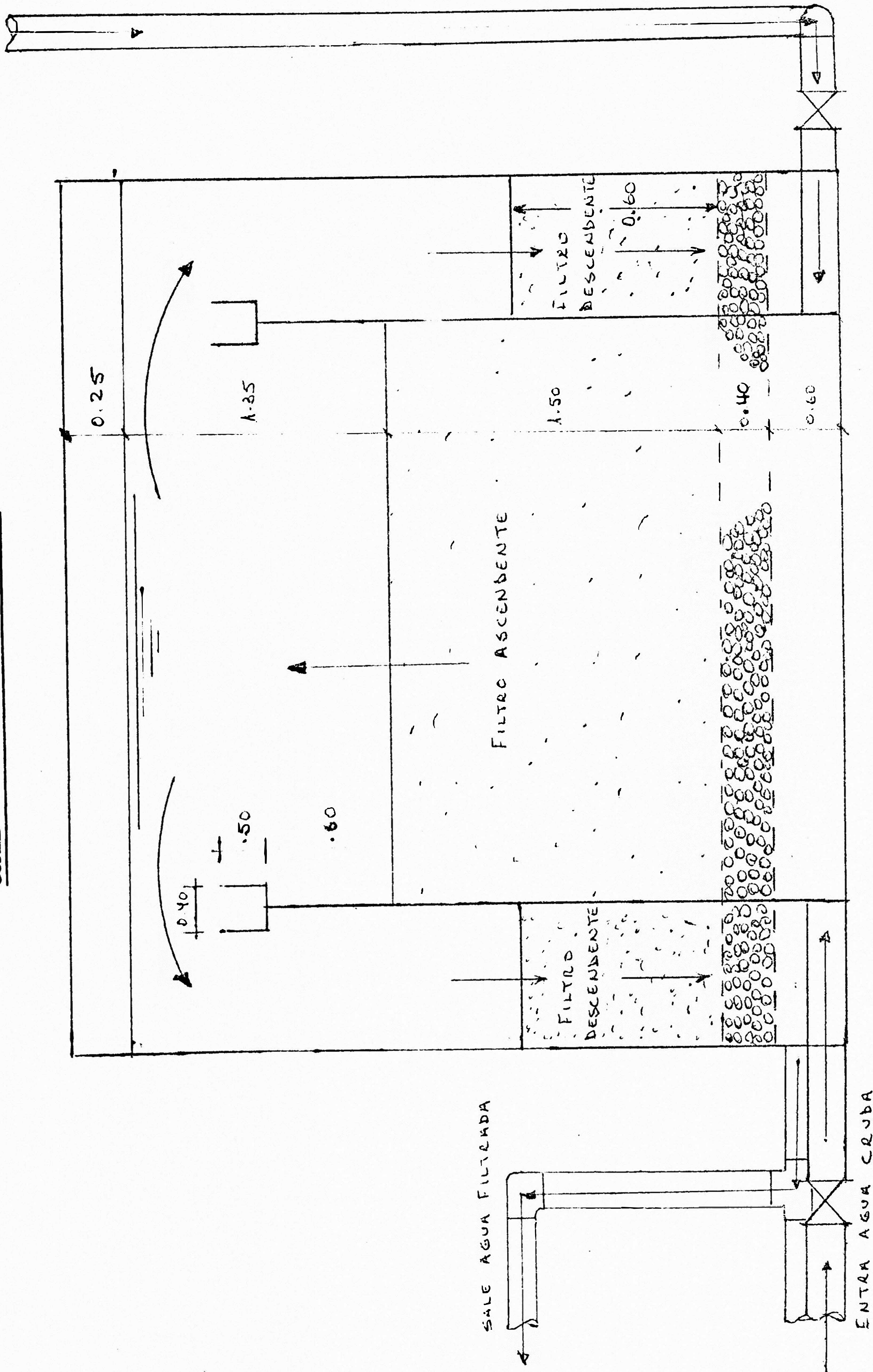
POBLACION	AREA m ²	Ri m.	Re m.	R Total m
1000	1.50	0.70	1.05	1.25
2000	3.00	1.00	1.45	1.60
3000	4.50	1.20	1.80	1.95
4000	6.0	1.40	2.10	2.25
5000	7.50	1.55	2.30	2.45

SUPERFILTRO DE GRAVEDAD

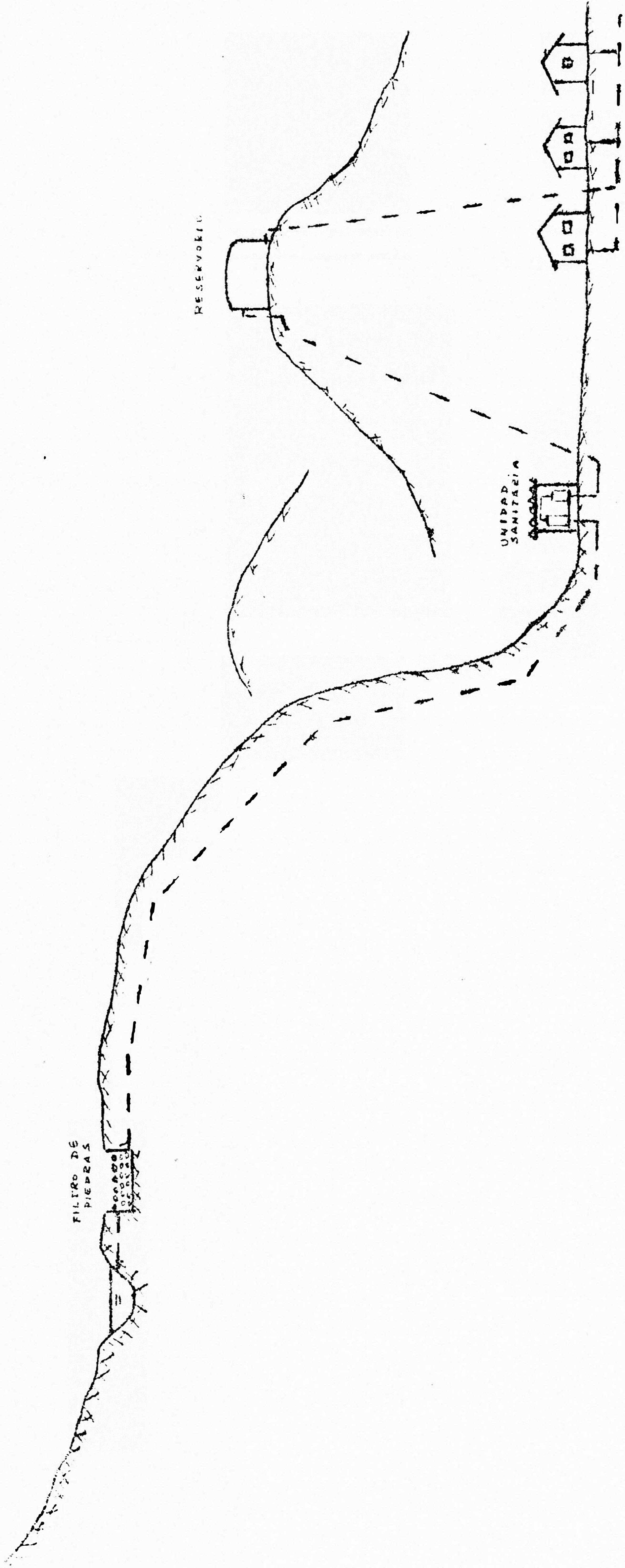


VIENE DEL
TANQUE ELEVADA

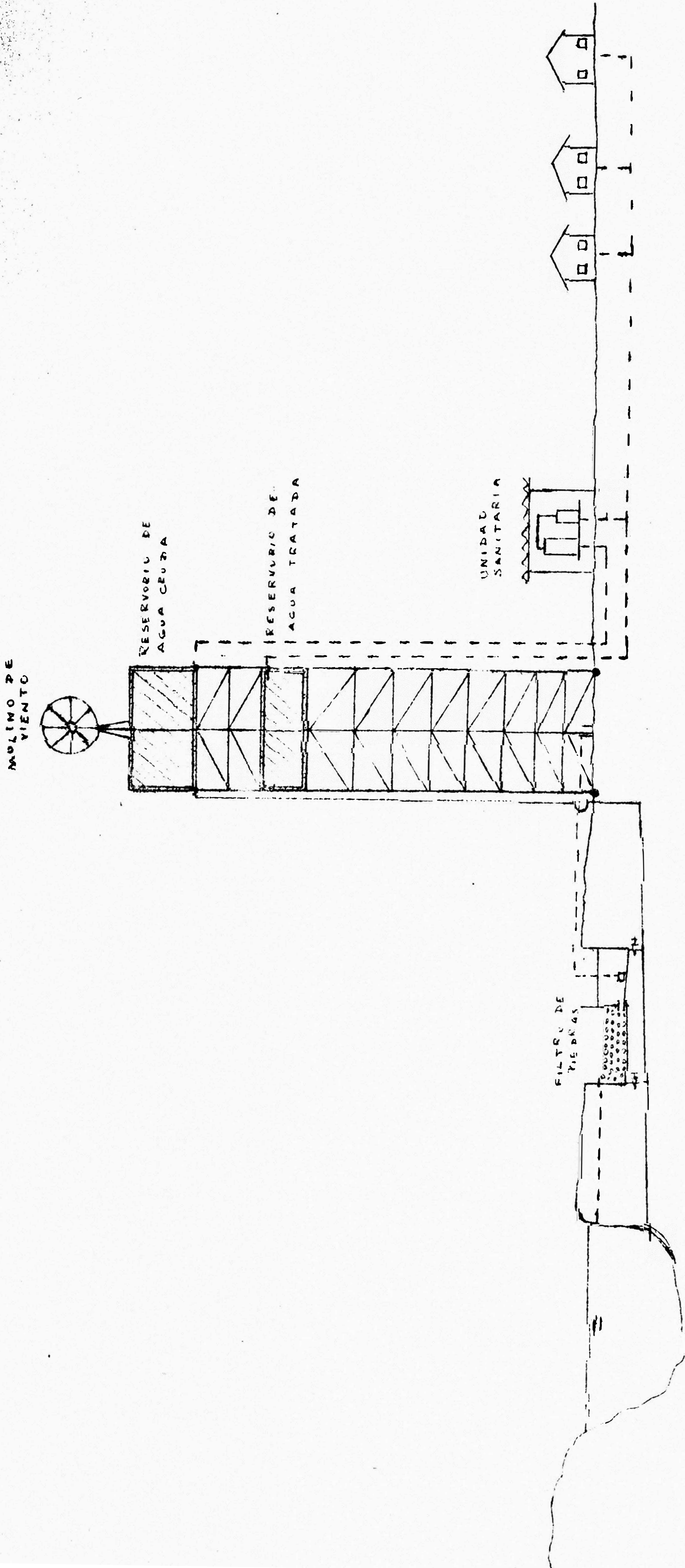
CORTE DEL SUPERFILTRO DE GRAVEDAD



ESQUEMA NO. 1



ESQUEMA No. 2



ESQUEMA No. 3

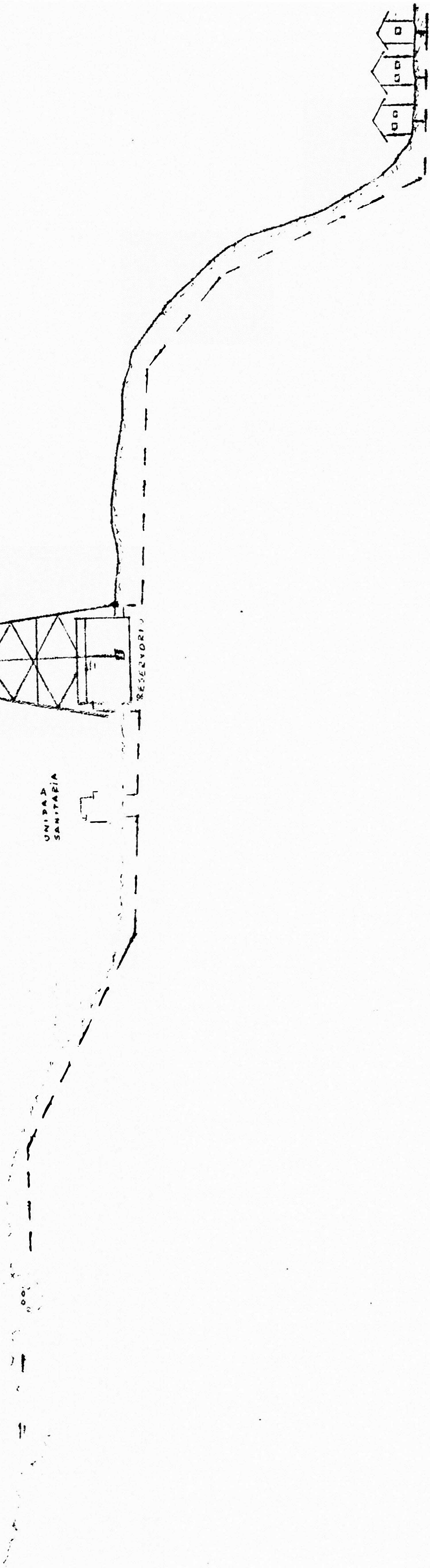
MOLINO DE
VIENTO

AGUA DE
LAVADO

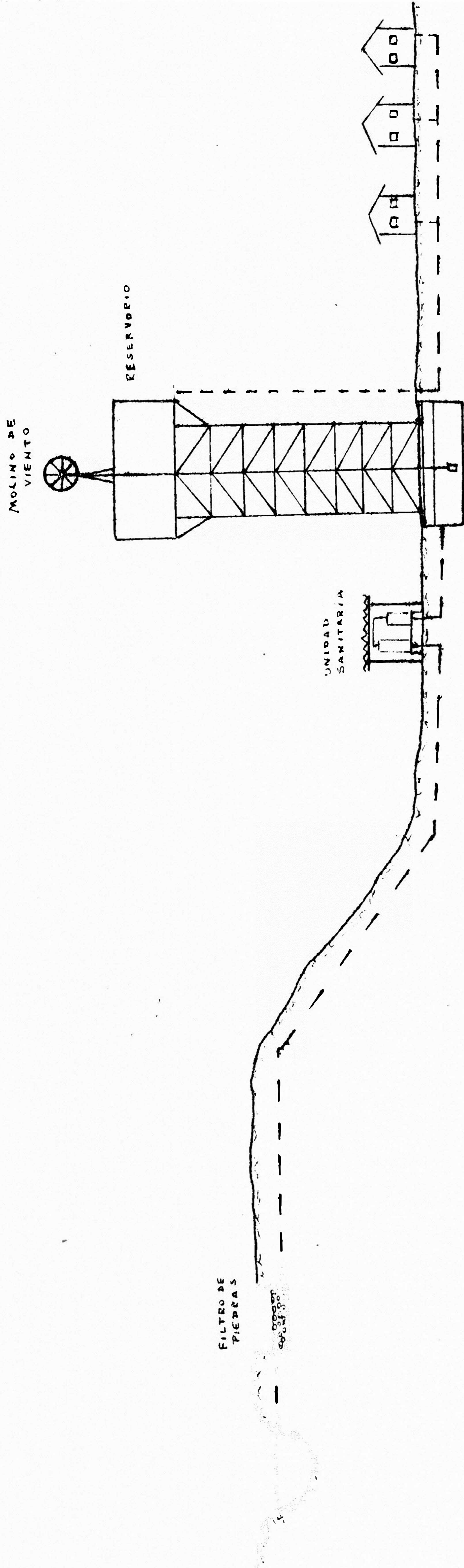
RESEVORIO

UNIDAD
SANITARIA

FILTRO DE
PIEDRAS



ESQUEMA NO. 4



APENDICE - Prefiltro de Grava

1.- ANTECEDENTES

La eficiencia de la filtración con medio granular grueso para la remoción de partículas coloidales y no coloidales, fue estudiada en el año 1957 por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Arkansas.

Se estudiaron dos condiciones específicas, la eficiencia con el lecho sumergido y cuando trabajaba como filtro percolador.

La unidad de filtración del estudio consistía en un tubo de acero de un pie² de área transversal. El lavado se hacía por contraflujo y la pérdida de carga era controlada mediante manómetros, la tasa de filtración se mantuvo constante por medio de una válvula operada manualmente.

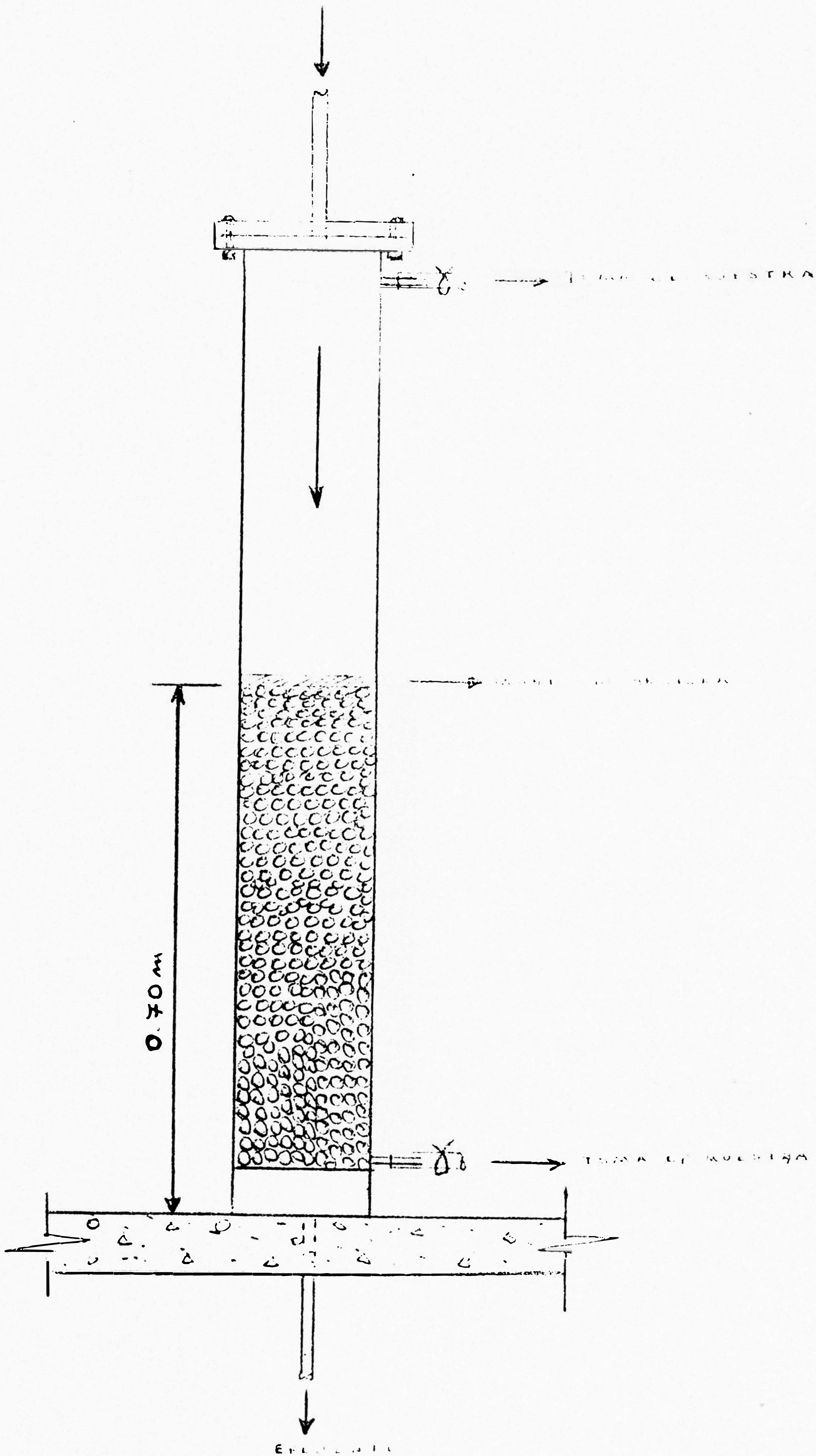
Durante las experiencias la turbiedad del agua variaba de 70 a 285 ppm.

La primera serie de pruebas con el filtro de medio granular grueso utilizó 42" de grava de río de 1/4" - 3/8". Las tasas de filtración variaban de 0.1 - 1 gpm/pie². Los resultados se muestran en el Cuadro VII - 1-1. Todas las carreras fueron de corta duración, obviando cualquier otro efecto.

La pérdida de carga en cada carrera fue negligible y la reducción de turbiedad en el proceso fue del 37 al 80%. Cuando el mismo filtro fue operado como filtro percolador se obtuvieron menores porcentajes de turbiedad residual, como se muestra en el Cuadro VII - 1-2.

Los resultados obtenidos en las pruebas preliminares con el lecho sumergido, justificaban la continuación del estudio, limitándolo a tasa de filtración de 0.1 - 0.25 gpm/pie².

Esquema Del Prefiltro De Piedras



CUADRO VII - 1-1

LECHO SUMERGIDO

TASA DE FILTRACION gpm/pie ²	LONG. DE CARRERA HORAS	TURBIEDAD ppm.		REDUCCION %
		INICIAL	FINAL	
1.0	4.0	113	71	37
0.75	4.0	170	101	41
0.75	3.0	197	93	53
0.25	3.5	116	47	59
0.25	5.0	87	37	57
0.10	1.5	100	20	80

CUADRO VII - 1-2

FILTRO PERCOLADOR

TASA DE FILTRACION gpm/pie ²	LONG. DE CARRERA HORAS	TURBIEDAD ppm.		REMOSION %
		INICIAL	FINAL	
1.0	4.0	104	94	10
0.75	2.5	94	89	5
0.75	5.0	78	73	6
0.25	4.0	85	67	21
0.25	4.0	87	66	24
0.10	2.0	85	75	12
0.10	7.0	82	61	25

Las nuevas experiencias estarían dirigidas a determinar:

- 1.- Los efectos de la profundidad del medio filtrante y la eficiencia del filtro en la remoción de la turbiedad.
- 2.- Los efectos del tamaño y forma del material filtrante, en la eficiencia del filtro.
- 3.- La relación de la eficiencia del filtro y la profundidad de agua sobre el lecho.

El equipo de laboratorio estaba constituido por el cilindro de acero anteriormente descrito, al cual se le adicionó en paralelo un tubo de plexiglass de 4" de diámetro.

Dos tipos de agua cruda fueron utilizados. Agua con turbidez artificial en las experiencias en las cuales era necesario limitar la variación de turbidez al mínimo. Y, cuando se requería determinar la eficiencia relativa del filtro en la filtración de partículas de tamaño coloidal se utilizó agua de una laguna cercana. El agua de la laguna era colectada en un reservorio donde se dejaba decantar 24 horas y el sobrenadante era bombeado al laboratorio. La turbiedad artificial esta diseñada para 85 ppm con variaciones entre 50 y 100 ppm., pero se mantuvo relativamente constante durante todas las fases de la investigación.

La primera serie de experiencias fue completada utilizando agua con turbiedad artificial preparada con arcilla de un depósito local. La arcilla fue lavada a través de la malla 200, el lodo resultante, fue secado y pulverizado. También se utilizó arcilla cerámica comercial, aunque era ligeramente gruesa sirvió bastante bien. Para mantener las partículas de arcilla en suspensión se utilizó agitación con aire comprimido por medio de difusores.

Se deseaba determinar para un tipo particular y tamaño de partícula dando la profundidad óptima del lecho. Fueron estudiadas cuatro profundidades 7", 14", 28" y 42", el material escogido fue grava de río (sin chancar) con un tamaño nominal entre 1/4" - 1/2". Se mantuvo una tasa de filtración de 0.1 gpm/pie² y una altura de agua de 70" del fondo del filtro. Al final de la carrera del filtro, 145 horas como mínimo, se notaba una apreciable cantidad de arcilla depositada sobre la superficie del medio.

En los filtros con profundidades de 14", 28" y 42", las partículas de arcilla penetraban aproximadamente 12". En el lecho de 7", la penetración alcanzó 4" solamente, en la superficie del lecho filtrante se formó una capa de arcilla de 1/2" - 1/4" de espesor después de 262 horas de operación.

La pérdida de carga no fue detectable en los manómetros, en ninguna de las carreras. Los resultados de estas pruebas indican que a mayor profundidad de lecho, mayor es la eficiencia del filtro. El lecho de 28" fue prácticamente tan eficiente como el de 42", los de 14" y 7" desarrollaron una baja capacidad de filtración. La eficiencia en la remoción se igualaban luego de 263 horas de operación con la eficiencia producida por el de 28".

Para los propósitos prácticos se asumió el lecho de 28" como el más eficiente para ese tipo y tamaño de medio.

El objeto de la otra fase de la investigación fue evaluar el rendimiento de tres diferentes tipos y cuatro tamaños de agregados como material granular grueso. Los agregados estudiados fueron:

- A.- Caliza chancada 1/2 - 1" CU 1.60
- B.- Caliza chancada 1/4 - 1/2" CU 1.35
- C.- Grava de río (sin chancar) 1/4 - 1/2" CU 1.61
- D.- Agregado ligero (esquistos) 3/8 - 8" CU 2.08
- E.- Caliza chancada 1/4 - 10" CU 1.5

MATERIAL. TIEMPO EN HORAS	TURBIEDAD EFLUENTE ppm.						
	25	50	75	100	150	175	200
A	22.0	20.6	19.0	18.0	16.7	15.9	15.1
B	13.5	13.4	13.3	13.2	13.1	13.1	13.0
C	13.5	12.5	12.4	11.8	10.8	10.5	10.0
D	10.5	10.0	9.3	9.1	9.1	8.9	8.8
E	11.5	7.5	6.0	4.95	4.0	3.75	3.5

Para esta serie de pruebas se empleó 14" de profundidad y 0.1 gpm/pie² el nivel de agua se mantuvo a 70" del fondo del filtro. La turbidez artificial fue preparada con arcilla cerámica, las carreras de filtración para los cinco tipos de medio fue de 210 horas, excepto el de grava de 1/4 - 1/2" que fue de 424 horas de operación continua.

Se pueden resumir los resultados obtenidos en lo siguiente:

- a) La eficiencia de filtración usualmente crece, a medida que decrece el tamaño de medio.
- b) Se incrementa la eficiencia a medida que el tiempo de filtración aumenta.
- c) Una pequeña variación de la eficiencia se detectó por el cambio de material y forma del mismo, pero se consideró negligible.

Con el objeto de determinar el posible efecto de la altura de agua sobre el lecho, se estudiaron tres profundidades: 12", 28" y 78", sobre el lecho de 14" de grava de río 1/2" - 1/4". Se utilizó turbidez artificial hecha con arcilla cerámica y se filtró a 0.1 gpm/pie².

Se encontró que la eficiencia aumentaba a mayor profundidad, esto se atribuía a la aglomeración de partículas y sedimentación preliminar antes de la filtración.

FIGURA VII - 1

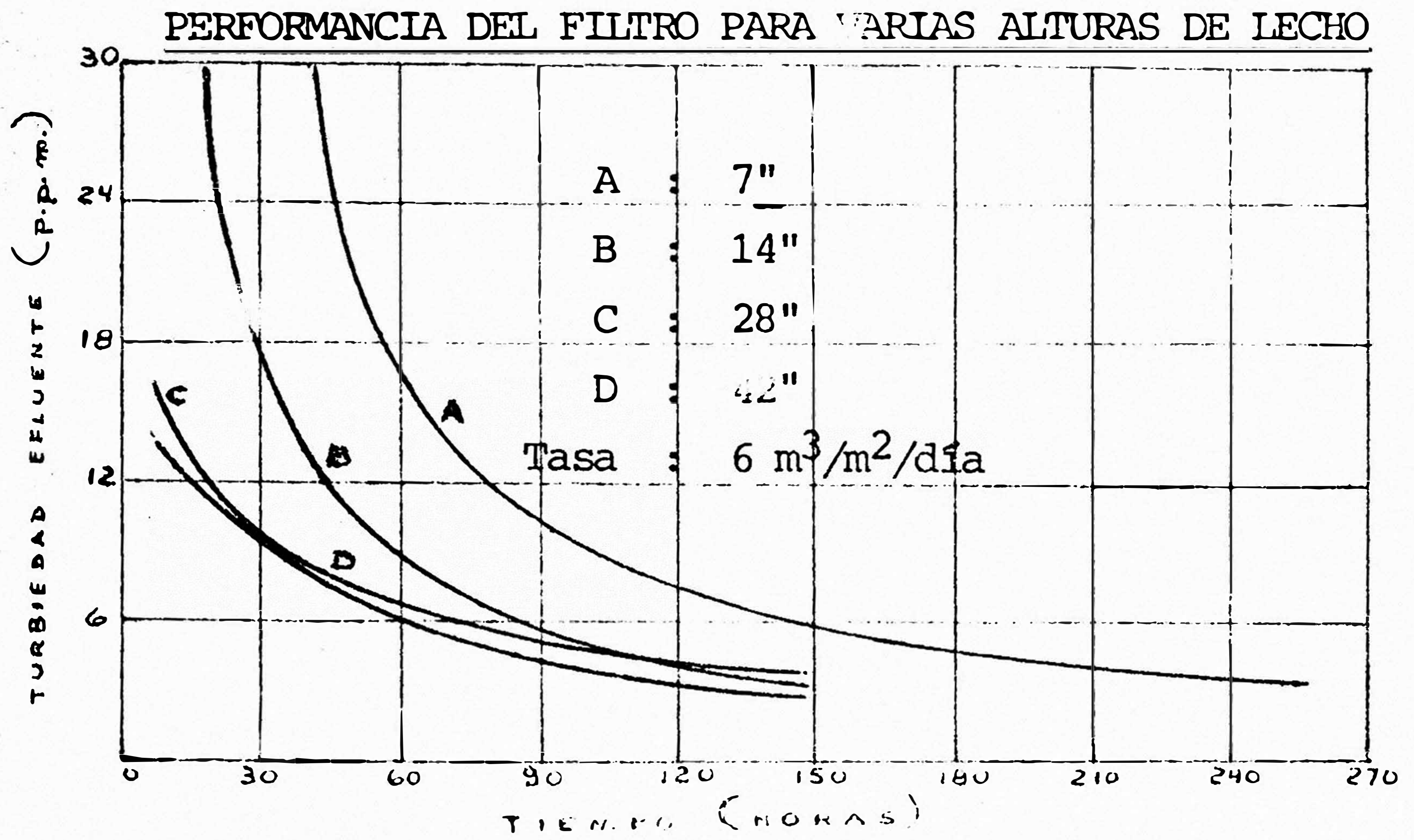
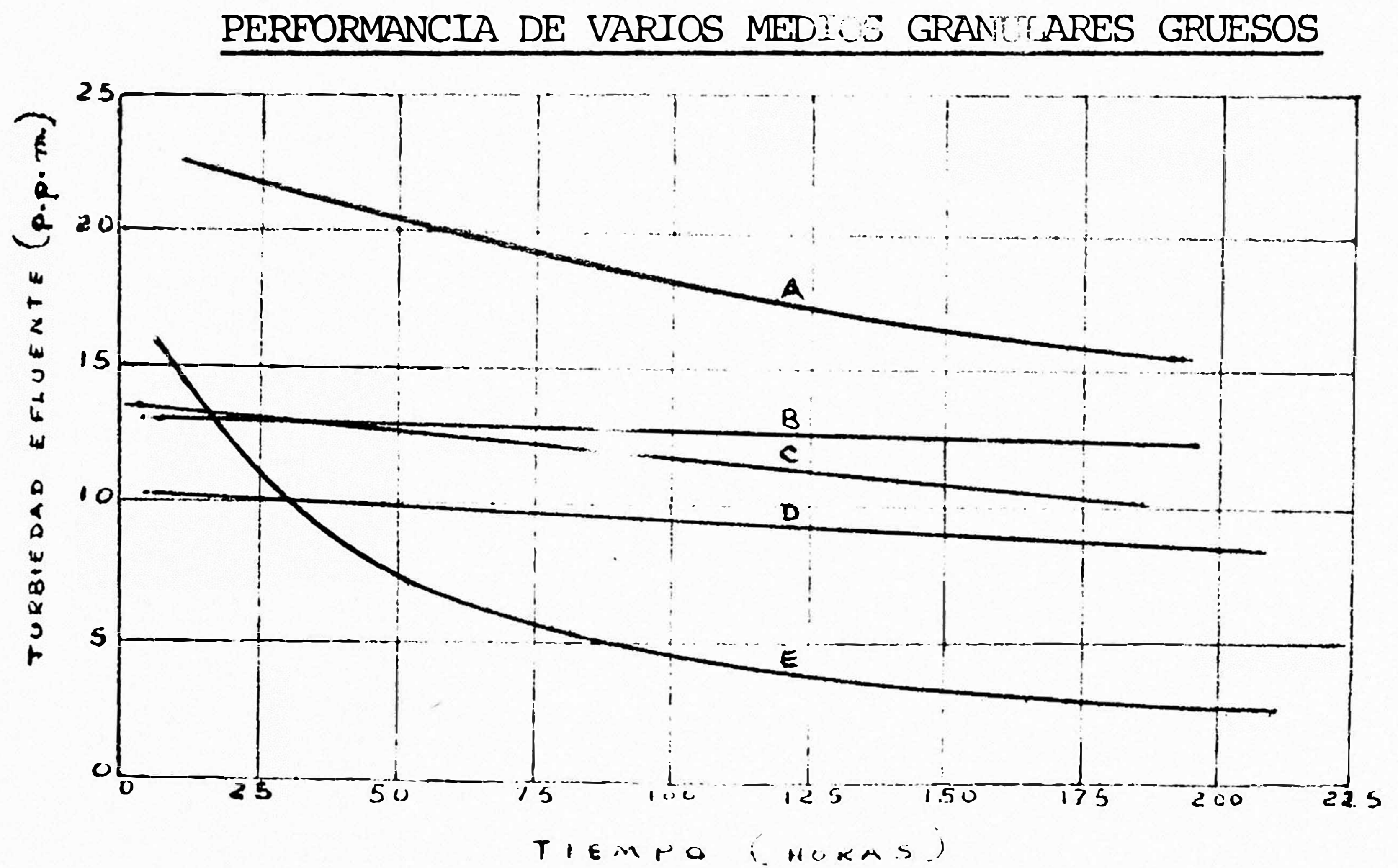
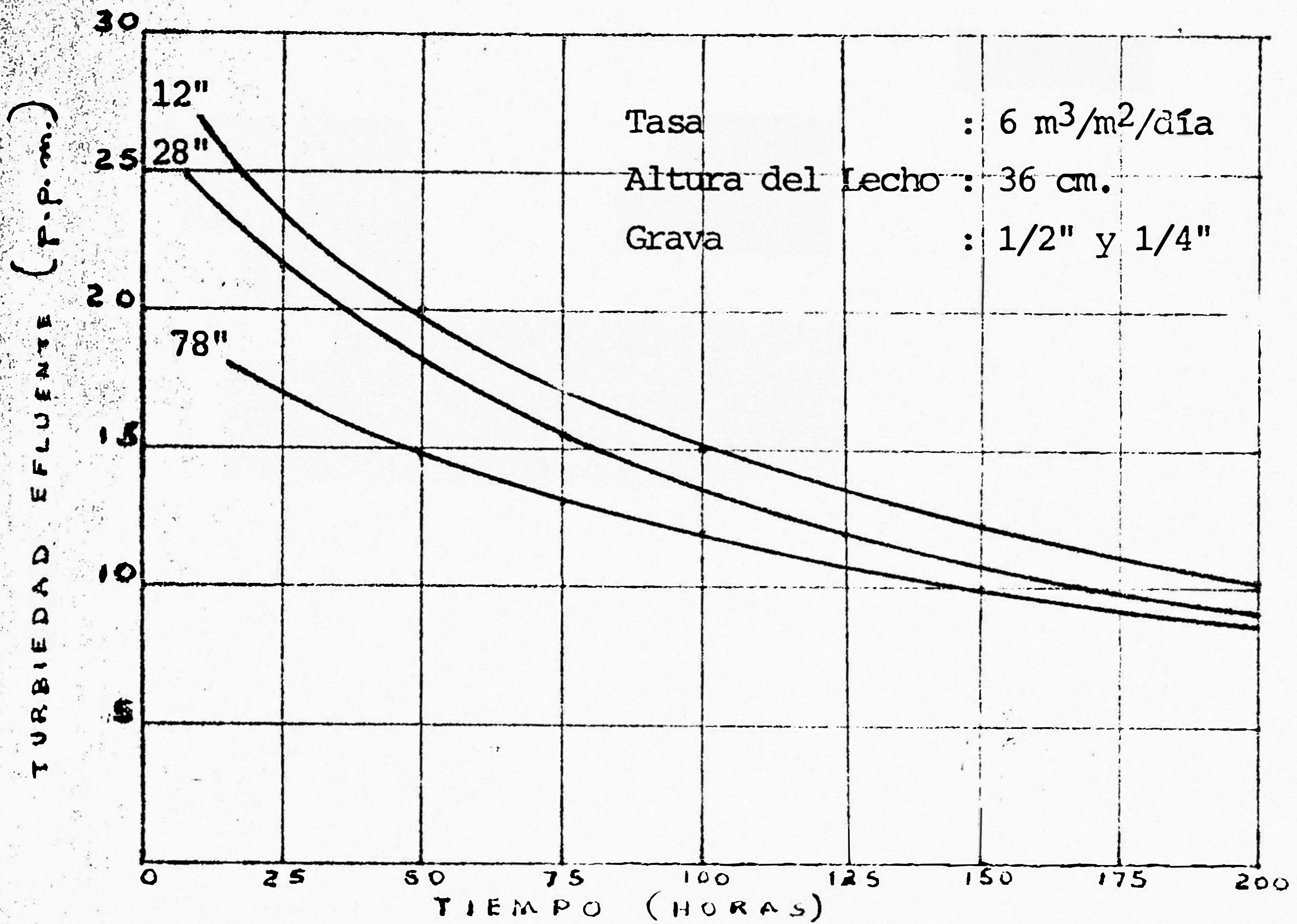


FIGURA VII - 2



- A : 1" - 1/2" caliza
 - B : 1/2" - 1/4" caliza
 - C : 1/2" - 1/4" agregado ligero
 - D : 3/8" - No. 8 agregado
 - E : 1/4" - No. 10 caliza
- Turbidez afluyente : 85 UJ.

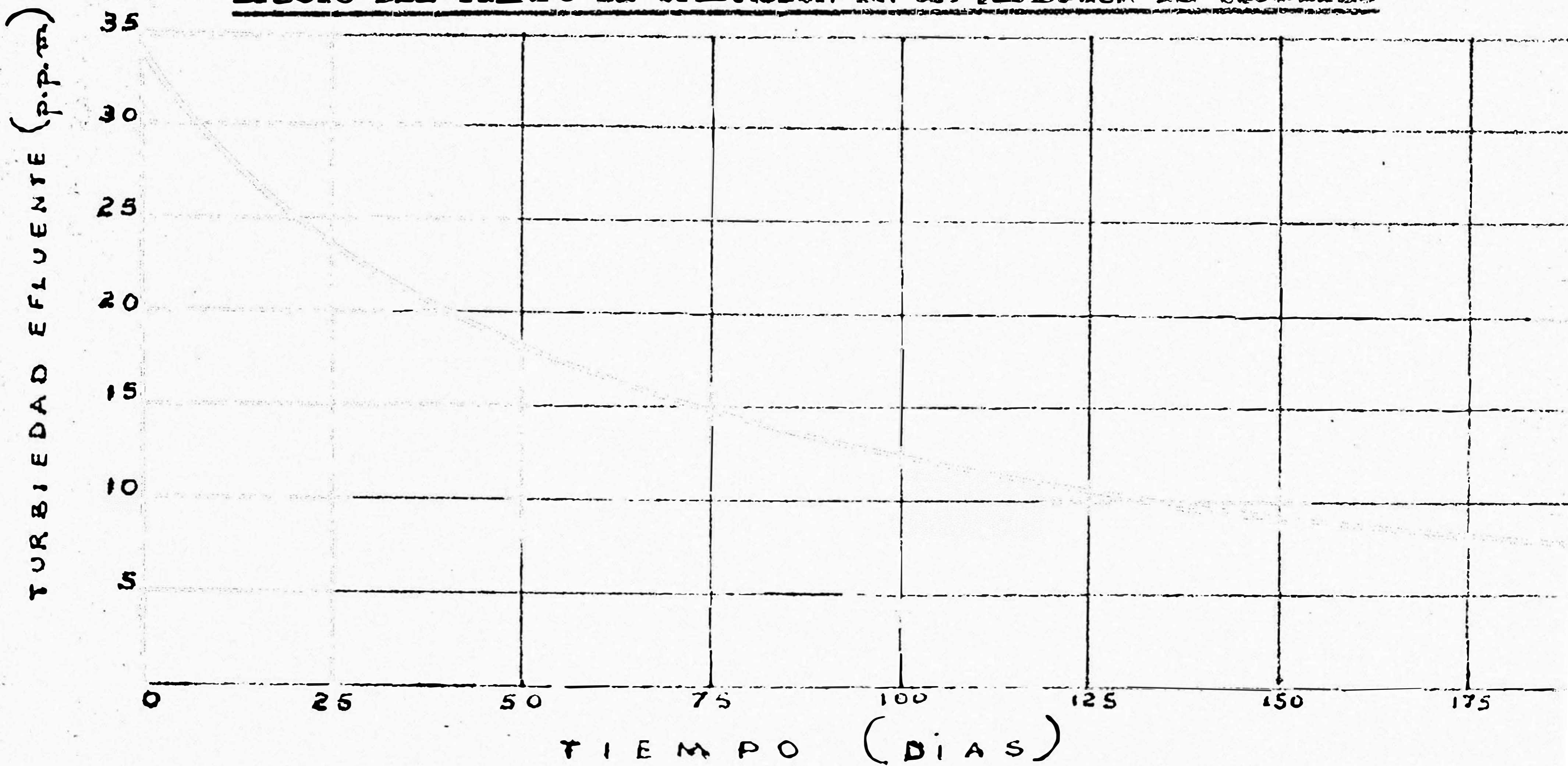
FIGURA VII - 3



PERFORMANCIA DEL FILTRO PARA VARIAS ALTURAS DE AGUA

FIGURA VII - 4

EFFECTO DEL TIEMPO DE OPERACION EN LA REMOSION DE TURBIDEZ



2.- EFICIENCIA EN LA REMOSION DE TURBIDEZ

Apoyándonos en los resultados de las pruebas realizadas en los Estados Unidos, y tomando los parámetros que dieron buen resultado, decidimos realizar algunas pruebas complementarias, con el objeto de verificar resultados, para lo cual se preparó en un tubo de plexiglass de \varnothing 6" un lecho de gravilla de 1/4" de 70 cm. de profundidad sumergido en 40 cm. de agua. El procedimiento experimental consistió en hacer pasar a través del lecho de grava agua con turbidez artificial preparada con arcilla muy fina (malla No. 325) con una turbidez que variaba entre 250 y 300 UJ. y variando la tasa de filtración entre 8 y 16 m³/m²/día, con lo que se consiguió una remoción de turbidez del orden del 60 y 70% (Grafico VII - 5).

3.- ALCANCES Y APLICACIONES

El sistema de prefiltro de piedras es recomendado como tratamiento previo en pequeñas instalaciones de tratamiento de aguas cuando el afluente contiene gran cantidad de partículas en suspensión.

Debido a la simplicidad del sistema que no requiere de un personal especializado, es aplicable a plantas de tratamiento con operadores de bajo grado de instrucción, como en el caso de instalaciones de filtros lentos donde logra alargar las carreras de los filtros y amortigua los efectos de las aguas de avenida, ya que, al trabajar a tasas entre 4.5 - 7 m³/m²/día (típicas de filtro lento) logra remosiones de turbidez del orden del 80%.

En las figuras siguientes se muestran algunos diseños de la unidad.

Parámetros de diseño:

- Tasa de Aplicación : 5 - 15 m³/m²/día.
- Eficiencia en la remoción : 80% - 60%.
- Altura de lecho : 0.70 - 1.00 m.
- Altura de agua sobre el lecho : 0.50 - 1.00 m.
- Diámetro del material granular : de 1/2" - 1/4" de preferencia 1/4".

Pérdida de Carga en lechos de grava:

$$H_f = \frac{V h}{3}$$

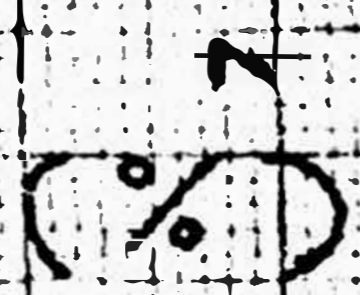
V : Velocidad de filtración en m/min.

H : Altura de lecho en m.

Hf : Pérdida de carga en m.

EFICIENCIA EN LA REMOSION DE TURBIDEZ DEL FILTRO
DE PIEDRAS PARA DIFERENTES TASA DE FILTRACION

9 10 11 12 13 14 15 16
TASA DE FILTRACION (m^3/m^2-dia)

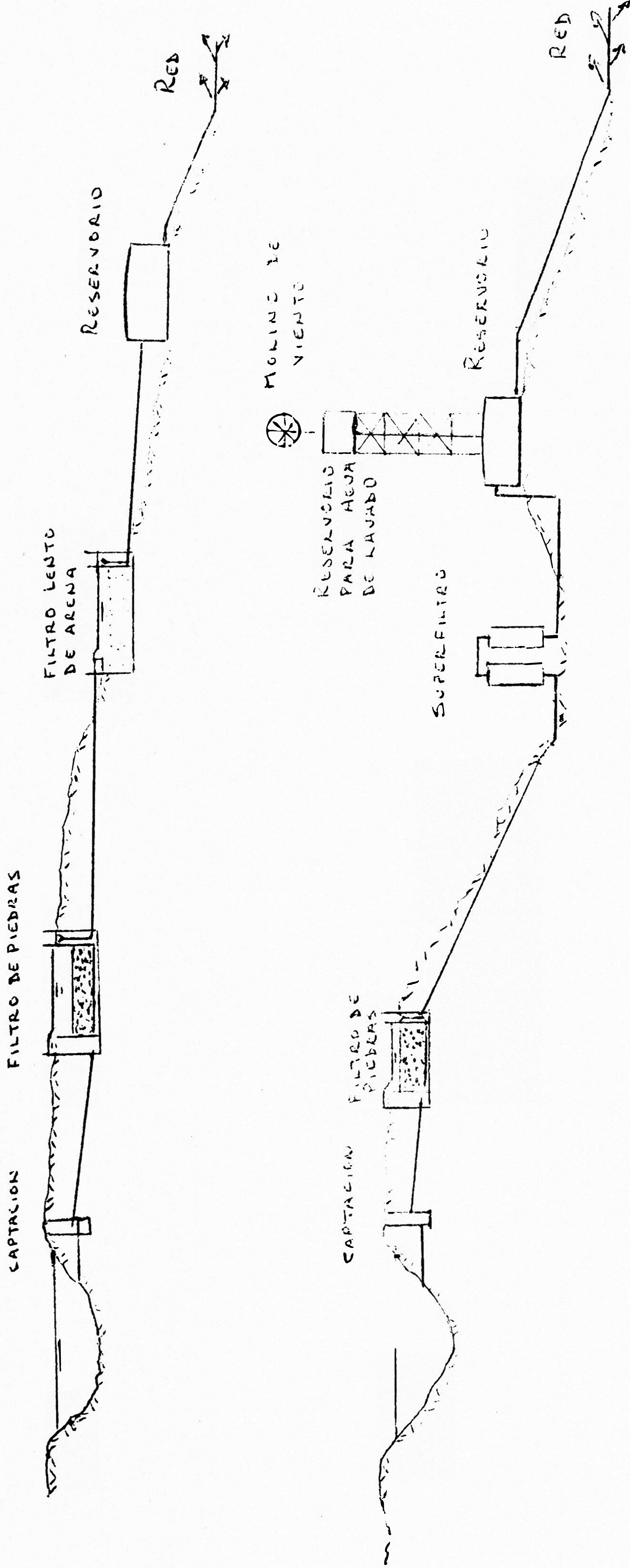


TURBIDEZ

MOCION DE

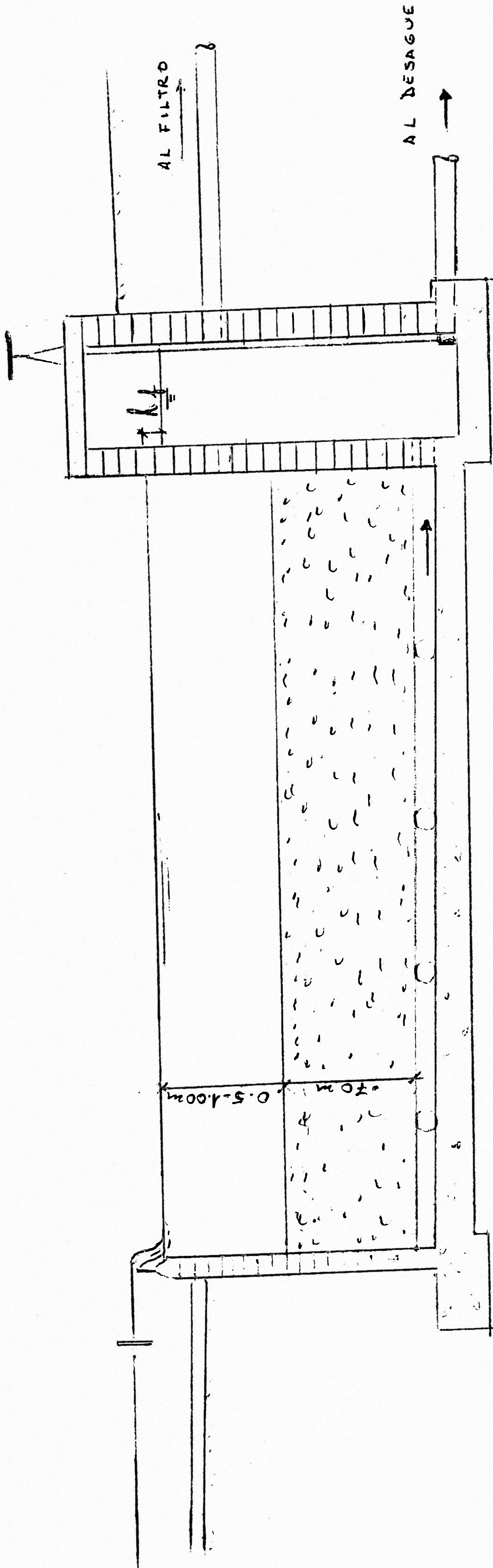
60

FIGURA VII - 6



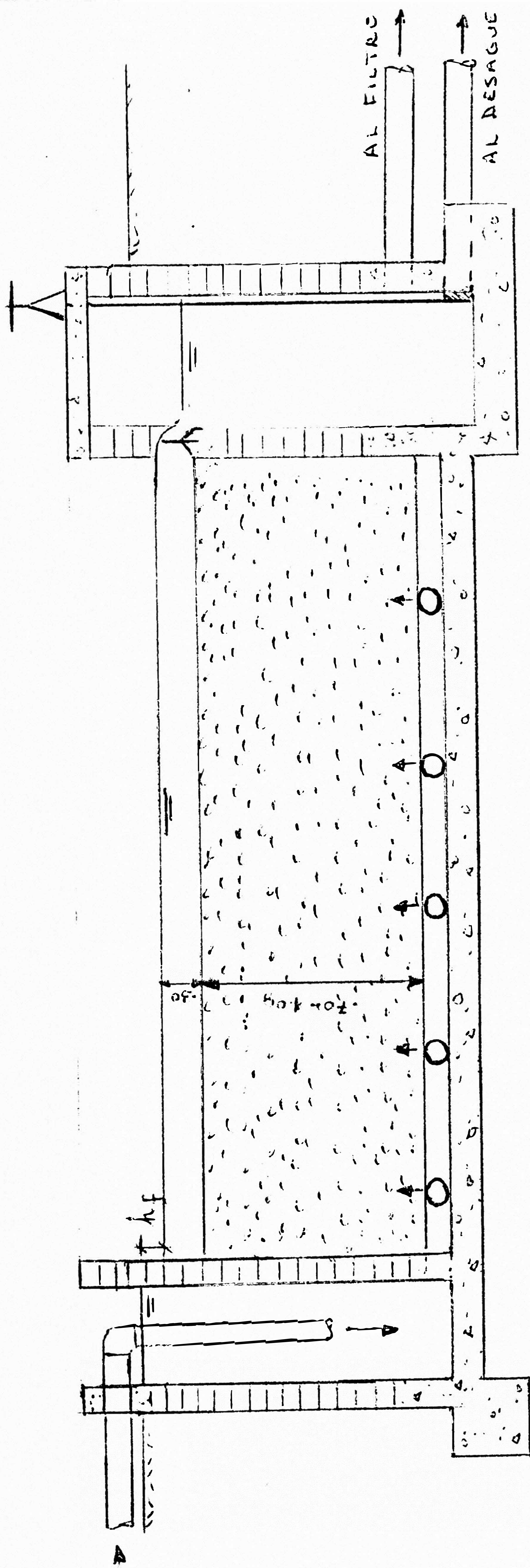
ALGUNAS APLICACIONES DEL PREFILTRO DE PIEDRAS

FIGURA VII - 7



OPERACION EN FLUJO DESCENDENTE

FIGURA VII - 8



OPERACION EN FLUJO ASCENDIENTE

4.- CONCLUSIONES

- 1.- La eficiencia en la remoción de turbidez crece a medida que decrece el tamaño de la grava.
- 2.- Se incrementa la eficiencia en la remoción de partículas cuanto mas se prolonga la carrera del filtro, esto se debe a que en la superficie del medio granular se forma un manto de lodos que actúa como un papel filtro.
- 3.- Debido a la baja velocidad de filtración y al tamaño de la grava utilizada la pérdida de carga es despreciable.
- 4.- Una mayor altura de agua sobre el lecho de grava aumenta la eficiencia del sistema, esto se atribuye a la aglomeración de partículas y sedimentación preliminar antes de la filtración.
- 5.- Se recomienda una altura de lecho entre 70 y 100 cm. y nunca menos de 35 cm., ya que, tarda aproximadamente 10 días para igualar la eficiencia del lecho de 70 cm.
- 6.- Como la caja del filtro de piedras es de poca profundidad, puede emplearse ladrillo o piedra con un buen acabado interior en la construcción del sistema.
- 7.- Recomendamos se hagan un mayor número de pruebas, con el objeto de optimizar el sistema y así aprovechar económicamente esta tecnología simplificada.