

56 25

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA

INFLUENCIA DEL USO DE COAGULANTES EN LA  
FILTRACION DE EFLUENTES SECUNDARIOS.

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A  
VIRGILIO ALFONSO JUAREZ RAMIREZ

MEXICO D.F. 1990  
FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# I N D I C E

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABLAS	III
RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
1. REVISION BIBLIOGRAFICA	5
1.1 <i>Definición de filtración</i>	5
1.2 <i>Tipos de filtración</i>	6
1.2.1 <i>Filtración lenta</i>	6
1.2.2 <i>Filtración rápida</i>	7
1.3 <i>Medios filtrantes</i>	8
1.3.1 <i>Propiedades físicas de los medios filtrantes</i>	8
1.4 <i>Ciclos de filtración</i>	12
1.5 <i>Lavado de los filtros</i>	13
1.5.1 <i>Retrolavado con agua</i>	13
1.5.2 <i>Retrolavado con agua y aire</i>	14
1.5.3 <i>Problemas ocasionados por deficiencias de lavado</i>	14

	Pág.
2. COAGULACION Y FLOCULACION	16
2.1 La necesidad de la coagulación	16
2.2 Diferencia entre coagulación y floculación	18
2.3 Mecanismo de la coagulación	19
2.4 La coagulación en el tratamiento de aguas	19
2.5 Factores que influyen en la coagulación	20
2.5.1 Influencia del pH	21
2.5.2 Influencia de las sales disueltas	21
2.5.3 Efecto de la naturaleza de la turbiedad en la coagulación	23
2.5.4 Efecto del coagulante	24
2.5.5 Efecto de la mezcla	24
2.6 Coagulantes metálicos	26
3. PARTE EXPERIMENTAL	31
3.1 Determinación de la dosis óptima de coagulante en el laboratorio	31
3.2 Determinación de la dosis óptima de coagulante en los filtros piloto	33
3.3 Dosificación del coagulante	37
3.4 Descripción de los filtros piloto	38
4. ANALISIS DE RESULTADOS	44
4.1 Relación entre la concentración de	

	Pág.
coagulante y la eficiencia de filtración	44
4.2 Relación entre la velocidad de filtración, la concentración de coagulante y la eficiencia de remoción	47
4.3 Relación entre la concentración de coagulante y la duración de la corrida	48
4.4 Relación entre la duración de la corrida, la eficiencia de remoción y la pérdida de carga	50
4.5 Relación entre la altura del medio, la pérdida de carga y la duración de la corrida	50
4.6 Turbiedad del influente y del efluente a lo largo de las corridas de filtración	50
4.7 Cantidad de agua producida y cantidad de agua de lavado para las corridas experimentales	55
4.8 Cantidad de sólidos retenidos en el medio filtrante	57
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
BIBLIOGRAFIA	62

	Pág.
ANEXO 1. RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES	65
ANEXO 2. RESULTADOS DE LAVADO DE LOS FILTROS	88
ANEXO 3. RENTABILIDAD Y VENTAJAS DEL PROCESO	100
ANEXO 4. JUSTIFICACION DEL TRABAJO	103

## LISTA DE FIGURAS

No. Figura			Pág.
2.1		Gráfica de coagulación de 50 mg/l de caolín con sulfatos de Aluminio y Férrico	25
3.1		Aparato de jarras	32
3.2		Resultados de las pruebas de jarras	34
3.3		Filtros piloto vista general	40
3.4		Filtros piloto vistas laterales	41
3.5		Filtros piloto perspectiva	42
4.1		Relación entre la concentración de coagulante y eficiencia de filtración. Sólidos suspendidos	46
4.2		Relación entre la concentración de coagulante y eficiencia de filtración. Turbiedad.	46
4.3		Relación entre la concentración de coagulante y la duración de la corrida.	49
4.4		Relación entre la duración de la corrida, la eficiencia de remoción y la pérdida de carga.	51
4.5		Relación entre la duración de la corrida, la eficiencia de remoción y la pérdida de carga.	51
4.6		Relación entre la altura del medio, la pérdida de carga y la duración de la corrida ( $v = 2.5 \text{ m/h}$ ).	52
4.7		Relación entre la altura del medio, la pérdida de carga y la duración de la corrida ( $v = 5 \text{ m/h}$ )	52
4.8		Relación entre la altura del medio, la pérdida de carga y la duración de la corrida ( $v = 5 \text{ m/h}$ )	53

## No. Figura

4.9	Relación entre la altura del medio, la pérdida de carga y la duración de la corrida ( $v = 10$ m/h).	53
4.10	Variación de la turbiedad del influente y efluente a lo largo de la corrida ( $v = 5$ m/h, dosis 15 mg/l)	54
4.11	Variación de la turbiedad del influente y efluente a lo largo de la corrida ( $v = 5$ m/h, dosis 14 mg/l).	55

## LISTA DE TABLAS

No. Tabla		Pág.
1.1	Tamaños aproximados de materiales suspendidos en el agua.	6
2.1	Tamaño, área superficial y tiempo de sedimentación de partículas tipo que pueda contener el agua.	17
3.1	Condiciones de operación empleadas en los filtros Piloto.	35
3.2	Determinaciones efectuadas.	37
3.3	Condiciones de la dosificación del coagulante.	38
4.1	Resumen de datos	45
4.3	Cantidad de agua producida, cantidad de agua utilizada para el lavado en las corridas experimentales $v_{\text{lavado}} = 24 \text{ m/h}$	56
4.4	Cantidad de sólidos retenidos por volumen de lecho filtrante.	57

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo experimental es el de obtener parámetros para la operación de filtración de un efluente secundario, usando sulfato de aluminio como coagulante.

El trabajo experimental se llevó a cabo en dos etapas. En la primera, se encontró la dosis óptima de coagulante (15 mg/l) para el agua residual del sedimentador del sistema de locos activados de la P.T.C.U.. La segunda etapa consistió en llevar a cabo la filtración en un modelo físico alimentado con el efluente biológico y coagulante. El medio utilizado fue arena sílica con talla efectiva de 0.66 mm.

Como resultados principales se encontró que la utilización de coagulante en la filtración de efluentes secundarios aumenta la eficiencia de remoción (valor promedio 77.6%) y

que con un medio con talla efectiva adecuada se lograrán ciclos de filtración rentables, con una producción razonable de agua tratada en precio y calidad.

Los mejores resultados se obtuvieron con una dosis de coagulante de 15 mg/l y una velocidad de filtración de 5 m/h.

Por último, se recomienda la técnica para determinar la dosis en laboratorio ya que se obtuvieron los mismos valores después de experimentación.

## INTRODUCCION

En la época en que vivimos la utilización de plantas de tratamiento de aguas residuales es cada vez mayor y si a esto le aunamos los problemas económicos actuales, la necesidad de tecnología propia resulta indispensable.

La misión de la investigación es satisfacer estas necesidades y hacer uso de elementos que sean de origen nacional, sin tener que recurrir a la importación.

La relevancia de este trabajo experimental radica en que la literatura con que se cuenta para satisfacer las necesidades de diseño y operación de los filtros de arena con uso de coagulante es escasa. Mediante la experimentación realizada se pudo obtener algunos de estos datos, que mejorarán el funcionamiento de nuestras plantas de tratamiento y contribuirán

**al uso de sus efluentes en riego de áreas verdes.**

## 1. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 1.1 *Definición de filtración*

Dentro del tratamiento del agua, filtración es la retención de los materiales suspendidos, con la ayuda de un medio filtrante.

Entre los materiales que han de eliminarse del agua figuran el limo, la arcilla, los coloides y los microorganismos, incluyendo algas, bacterias y virus. El tamaño de estos tipos de materiales (Tabla 1.1) varían, por lo que algunos son retenidos en cierto tipo de medios y otros no.

Un filtro está constituido por un agente filtrante (medio) depositado en un soporte, por el cual se hace circular agua ya sea por gravedad ó por flujo dirigido.

TABLA 1.1. TAMAÑOS APROXIMADOS DE MATERIALES SUSPENDIDOS EN EL AGUA

Material	Tamaño de las partículas en milimicras
Limo	50.000
Bacterias	5.000
Virus	50
Coloides	1-1.000

FUENTE: AWWA, 1975; Baylis, Gullans y Hudson.

Debido a que las aguas residuales obstruyen con rapidez los medios filtrantes, estas no pueden ser tratadas por filtración sin antes recibir un tratamiento biológico o químico.

Así la filtración se convierte en una operación terciaria dentro del campo de tratamiento de aguas residuales.

## 1.2 Tipos de filtración

En el tratamiento de aguas existen principalmente dos tipos de filtración, la filtración lenta y la filtración rápida.

### 1.2.1 Filtración lenta

La principal característica de este tipo de filtración es que la tasa a la cual se lleva a cabo el proceso es relativamente baja de  $7-14 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$  (Arboleda, 1973).

La superficie del filtro es grande y el lecho no está estratificado. La duración del ciclo entre limpiezas es de aproximadamente de 30 días y se efectúa por la remoción de las capas superiores de la arena ya que la penetración de los materiales es únicamente superficial.

La cantidad de agua usada para la limpieza es del 0.2 al 0.6% del agua filtrada, su costo de construcción es relativamente alto y su costo de operación bajo.

Este tipo de filtración se empleó durante muchos años y actualmente está siendo sustituida por la filtración rápida.

### 1.2.2 Filtración rápida

La filtración rápida opera con tasas de filtración de 120-360  $m^3/m^2d$  (Arboleda, 1973).

Son filtros pequeños cuyo lecho está estratificado (las partículas más pesadas se encuentran en la parte inferior y las menos pesadas en la parte superior) por el lavado. La duración de los ciclos de filtración varía entre 12 y 72 horas y la retención de los materiales es profunda.

Se utiliza de 4 a 6% del agua filtrada para el lavado. El costo de construcción es relativamente bajo pero su costo de

operación es alto.

### 1.3 Medios filtrantes

El material más usado en filtración es la arena aunque también figuran otros materiales como son antracita, carbón activado, magnetita, arenas de granate, cuarzo molido, etc.

En filtración rápida el medio filtrante suele estar apoyado en un lecho de grava tamizada colocada en una serie de capas de distintos espesores con el fin de esparcir el flujo uniformemente durante el lavado ascendente y servir de soporte a la arena.

En filtración también es común utilizar medios duales, combinando arena con antracita, granate, pizarra, etc. siempre que la friabilidad sea pequeña, muchas veces usar medios duales lleva a mejores resultados.

#### 1.3.1 Propiedades físicas de los medios filtrantes

A continuación se describen los parámetros que sirven para determinar las características de un medio.

### 1.3.1.1 Granulometría

Se caracteriza por una curva representativa de los porcentajes en peso de los granos que pasan a través de las mallas de una sucesión de tamices normalizados. De ella se determinan:

- a) Talla efectiva. Que corresponde al porcentaje de 10 de la curva granulométrica.
- b) Coeficiente de uniformidad. Que es la relación entre los porcentajes de 60 y 10 de la curva granulométrica.

### 1.3.1.2 Forma de los granos

Los granos pueden ser angulosos (material triturado) redondos (arena de mar y río). Se obtienen calidades de agua similares, con un material anguloso de talla efectiva menor que la de un material de grano redondo.

La arena natural procedente de los bancos puede ser demasiado fina, demasiado gruesa ó carecer de la uniformidad requerida para un filtro determinado. Para obtener el tamaño requerido hay que recurrir al cribado para eliminar gruesos y al lavado para eliminar finos.

### 1.3.1.3 Friabilidad

Es la medida de qué tanto se van desgastando las partículas de un medio, dando como resultado un exceso de finos.

### 1.3.1.4 Pérdida por ataque de ácido

El material a usar no debe de reaccionar con algún agua de distinto pH. De esta manera no se observarán pérdidas de material filtrante.

### 1.3.1.5 Pérdida por ignición

El medio filtrante deberá de pasar la prueba de ignición, que consiste en someter una muestra de 20 g a 700°C durante una hora, al final las pérdidas de material filtrante deberán de ser mínimas.

Una vez que nosotros conocemos y tomamos en cuenta estas propiedades físicas de los medios, podemos entonces elegir el más adecuado, teóricamente, para una agua determinada con ciertos requerimientos de calidad.

Algunas de las aplicaciones de medios filtrantes de ciertas tallas efectivas se describen a continuación:

- Talla efectiva de 0.3 a 0.5 mm

Se utilizan medios de estas tallas en filtraciones muy rápidas de aguas poco cargadas de impurezas. Se puede utilizar en filtración con coagulación sobre filtro. Atascamiento bastante rápido. Lavado sólo con agua.

- Talla efectiva de 0.6 a 0.8 mm

Se utilizan en filtración sin decantación previa, con ó sin coagulación sobre filtro, a condición de que el agua este poco cargada de impurezas. Puede utilizarse en capa heterogénea, efectuándose lavado sólo con agua ó en capa homogénea lavando con agua y aire.

- Talla efectiva 0.9 a 1.35 mm

Se utiliza para la filtración de aguas decantadas ó aguas poco turbias con coagulación sobre filtro. También se utiliza en la filtración de agua bruta, poco cargada, destinada para la industria. Lavado con agua y aire.

- Talla efectiva de 1.35 a 2.5 mm

Se utiliza para el desbaste de aguas industriales o tratamiento terciario de aguas residuales. Utilizado también co

mo capa soporte de tallas de 0.4 a 0.8 mm.

- Talla efectiva de 3 a 25 mm

Únicamente se utiliza como capa soporte.

#### 1.4 Ciclos de filtración

Las impurezas del agua junto con el agente coagulante, obstruyen los poros del medio y aumentan la pérdida de carga hidráulica. La rapidez con que aumente la pérdida de carga depende de la velocidad de filtración, del tamaño de la arena, la porosidad, así como la cantidad y origen de la materia suspendida en el agua aplicada.

Los ciclos de filtración terminan cuando la pérdida de carga excede de un valor razonable ó cuando la calidad del agua ya no cumple con la norma de claridad.

La relación entre todos estos factores se determina en filtros piloto.

Desde el punto de vista económico es necesario que los ciclos de filtración no sean menores de 12 horas y de preferencia a 24 horas. (AWWA, 1975).

En los ciclos de filtración es importante conocer la cantidad de materia en suspensión a lo largo de la corrida. Para ello el criterio más útil y práctico es la determinación de la turbiedad, parámetro que junto con la pérdida de carga, ayuda a definir la terminación del ciclo de filtración.

### 1.5 Lavado de los filtros

Cuando termina el ciclo de filtración ya sea como consecuencia del ensuciamiento ó por una pérdida de carga excesiva es necesario proceder a la limpieza del medio. Para tal caso se suspende la operación del filtro y se procede a lavarlo. El medio se lava periódicamente con agua filtrada recurriendo a la inversión del flujo y a la descarga del agua cargada de sedimentos.

Existen varios tipos de lavado, como el retrolavado con agua, retrolavado con agua y aire, lavado con agitación superficial, etc.

#### 1.5.1 Retrolavado con agua

Una vez drenado el filtro, se hace circular agua filtrada por la parte inferior durante un tiempo dado. Se ha encontrado que pasar agua a  $37 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  durante un tiempo razonable lleva a una adecuada limpieza del filtro (AWWA, 1975).

### 1.5.2 Retrolavado con agua y aire

La manera en que se realiza este lavado es similar al lavado sólo con agua, pero con la variante de introducir aire comprimido y después circular sólo agua.

El agua que circula sirve para eliminar todos los materiales retenidos en el medio hacia el dren del filtro.

Para verificar si la limpieza ha sido adecuada, se mide la pérdida de carga en el filtro cuando la arena está limpia y después de cada lavado, con un buen lavado se obtiene que ambos valores sean iguales.

Con la ayuda del aire comprimido el lavado es mejor, más rápido y se emplea menor cantidad de agua.

### 1.5.3 Problemas ocasionados por deficiencias de lavado

El problema ocasionado por un lavado deficiente es que en la superficie del filtro se forman pequeños aglomerados de materia retenida que aumentan de tamaño y densidad provocando que al lavar se hundan en el medio, formando depósitos de lodo en las paredes y en la parte inferior del lecho de arena.

Una vez que estos aglomerados de lodo han alcanzado ciertas

dimensiones es imposible eliminarlas por el lavado, provocando problemas de operación y bajando la calidad del efluente.

## 2. COAGULACION Y FLOCULACION

### 2.1 *La necesidad de la coagulación*

El tratamiento de las aguas residuales lleva varios pasos mediante los cuales se pueden eliminar todos aquellos materiales que contaminan el agua.

Para la eliminación de los materiales que provoquen turbiedad el agua, el proceso que más se emplea es la coagulación seguida de la filtración. Los materiales que causan turbiedad en el agua están formados en su mayor parte por minerales calizos y organismos microscópicos, y se presentan en tamaños muy variados, en donde hay desde aquellos que se sedimentan con facilidad, hasta aquellos tan pequeños como para permanecer por largos periodos de tiempo suspendidos en el agua. Las partículas gruesas como el limo y la arena pueden eliminarse

del agua por simple sedimentación. Pero es necesario flocular las partículas más pequeñas para formar aglomerados que se sedimenten rápidamente.

La facilidad de las partículas para permanecer suspendidas por tiempos muy largos es función del tamaño y peso específico (Tabla 2.1).

TABLA 2.1. TAMAÑO, AREA SUPERFICIAL Y TIEMPO DE SEDIMENTACION DE PARTICULAS TIPO QUE PUEDA CONTENER EL AGUA.

Diámetro de las partículas (mm)	Orden de tamaño	Area superficial* total	Tiempo de sedimentación**
10	Grava	3.142 $\text{cm}^2$	0.3 seg
1	Arena gruesa	31.42 $\text{cm}^2$	3 seg
0.1	Arena fina	314.2 $\text{cm}^2$	38 seg
0.01	Limo	0.31 $\text{m}^2$	33 min
0.001	Bacterias	3.14 $\text{m}^2$	55 h
0.0001	Partículas coloidales	3.17 $\text{m}^2$	230 días
0.00001	Partículas coloidales	2.833 $\text{m}^2$	6.3 años
0.000001	Partículas coloidales	28.33 $\text{m}^2$	mínimo 63 años

\* Superficie para partículas de tamaño indicado producidas a partir de una partícula de 10 mm de diámetro y una densidad de 2.65.

\*\* Estos cálculos se basan en una esfera de densidad de 2.65 para sedimentador 0.30 m.

FUENTE: AWA, 1975 MADRID

## 2.2 Diferencia entre coagulación y floculación

Los términos coagulación y floculación han sido utilizados indistintamente, aunque existen diferencias bastante claras.

Coagulación proviene del latín "coagulare" que quiere decir juntar. Este proceso se caracteriza por la adición de un producto químico a una suspensión coloidal que provoca una desestabilización permitiendo juntar coloides unos con otros. En efecto los coloides en el agua tienen carga negativa lo que no permite que se acerquen para formar partículas mayores, así que con ayuda de un agente coagulante se pueden agrupar y formar partículas que sí se puedan eliminar por filtración.

El requisito para que la coagulación se lleve a cabo es que exista un mezclado perfecto del agente coagulante en la suspensión coloidal, el proceso se lleva a cabo casi instantáneamente.

Por otro lado floculación proviene del latín "floculare" que significa formar un flóculo que es un aglomerado semejante a una pelusa de lana. Este proceso consiste en la formación de aglomerados de partículas coloidales desestabilizadas; al revés de la coagulación la floculación requiere de una agitación moderada, ya que se trata de un fenómeno de enlaces fí-

sicos entre partículas. Entonces la floculación ocurrirá inmediatamente después de que la coagulación se lleve a cabo.

### 2.3 Mecanismo de la coagulación

La coagulación es provocada por iones que tienen carga opuesta a la de los coloides en el agua y su poder coagulante varía, dependiendo de la valencia que este tenga. Así, un ión divalente es aproximadamente 30 a 60 veces más eficaz que un monovalente y uno trivalente, 700 a 1000 veces más que un monovalente. Pero estas especies no son precisamente iones, sino complejos cargados eléctricamente productos de la hidrólisis de los coagulantes, como son las sales de aluminio y hierro principalmente.

Al introducir cargas positivas en una suspensión coloidal, en donde las cargas negativas predominan, estas se neutralizan y se dice que el coloide se coagula, permitiéndose la formación de aglomerados que se puedan eliminar más fácilmente.

### 2.4 La coagulación en el tratamiento de aguas

Este proceso tiene gran importancia, porque por medio de él se pueden eliminar las partículas que producen turbiedad.

Una de las maneras en que se utiliza es la coagulación sobre filtro, en donde el proceso de coagulación-floculación se lleva a cabo en un filtro momentos antes de ser filtrada el agua.

Dependiendo del tipo de agua a tratar es necesario determinar experimentalmente la dosis de coagulante a la cual el proceso se realiza eficientemente, desde un punto de vista operativo y económico.

### *2.5 Factores que influyen en la coagulación*

Además de determinar la dosis adecuada de coagulante, se requiere estudiar la influencia de diversos factores como son pH, turbiedad, composición química del agua, tipo de coagulante, temperatura, etc.

Esto llevado a la práctica es sumamente complejo y lo que se hace es realizar pruebas piloto para poder producir de una manera realista las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo este proceso.

A continuación se dará una explicación breve de la influencia de cada uno de estos factores en el proceso de coagulación.

### 2.5.1 Influencia del pH

La influencia del pH en el proceso de coagulación es de importancia.

Existe un intervalo de pH para una cierta dosis de coagulante en la cual la coagulación se lleva a cabo eficientemente.

La amplitud del intervalo de pH a la cual la coagulación es óptima, es función del tipo de coagulante, su concentración y de la composición química del agua a tratar.

En la definición del pH se tiene que tener en cuenta que la solubilidad mínima para los productos de la hidrólisis de las sales de aluminio está comprendida entre 5.5 y 7.8 y para los productos de la hidrólisis de las sales de fierro el intervalo es un poco más alto.

### 2.5.2 Influencia de las sales disueltas en la coagulación

En las aguas residuales existen muchas especies de sales disueltas; su principal influencia en el proceso de coagulación radica en que los agentes coagulantes (productos de la hidrólisis de sales de aluminio y fierro) pueden en un momento dado no ser estables, debido a que especies disueltas entran en competencia, desplazando la formación de las especies que rea

lizan la coagulación-floculación.

Estudios realizados por la AWWA, 1975 resumen la influencia de las sales en los siguientes apartados:

- 1) Por regla general, la coagulación con sales de aluminio ó fierro está sometida a una interferencia mayor de los aniones que de los cationes. En consecuencia, los iones del tipo del sodio, calcio y magnesio ejercen un efecto relativamente pequeño sobre la coagulación.
- 2) Los aniones amplían el margen óptimo del pH para la coagulación hacia el lado ácido en un grado que depende de su valencia. De este modo los aniones monovalentes, tales como cloruros, nitratos, ejercen un efecto relativamente pequeño, mientras que el sulfato y fosfato provocan desplazamientos notables de los valores óptimos del pH.

Todos los efectos de las sales arriba mencionados son fácilmente observables en el laboratorio pero en la realidad es imposible para una agua residual medir la influencia de cada ión.

Para determinar dosis y pH óptimos de coagulación de una agua determinada es necesario hacer pruebas específicas como

es la prueba de jarras.

### 2.5.3 Efecto de la naturaleza de la turbiedad en la coagulación

Con respecto a la influencia de la naturaleza de la turbiedad, se pueden hacer las siguientes generalizaciones:

- a) A medida que aumenta la turbiedad la cantidad de coagulante necesario aumenta, aunque este aumento no es lineal con la turbiedad.
- b) A turbiedades muy altas se requieren dosis de coagulante relativamente pequeñas, debido a la mayor posibilidad de colisión entre las partículas suspendidas, por esto mismo las turbiedades bajas son las más difíciles de eliminar.
- c) Es más fácil coagular partículas de una gama amplia de tamaños, que partículas de un mismo tamaño ó de una gama estrecha de tamaños.
- d) Es más fácil tener un control de la coagulación por el tipo y dosis de coagulante y por la composición química del agua, que por la naturaleza de los sólidos suspendidos.

- e) En aguas en donde existe buena cantidad de materia orgánica como las aguas urbanas, es necesario una mayor cantidad de coagulante, debido a las muchas reacciones químicas que existen entre el coagulante y la materia orgánica coloidal.

#### 2.5.4 Efecto del coagulante

En la actualidad el coagulante que más se utiliza es el sulfato de aluminio seguido del sulfato férrico. Ambos son buenos coagulantes pero el sulfato férrico sirve en los casos donde se requiera coagular en un intervalo de pH más amplio que el sulfato de aluminio. En la figura 2.1 podemos ver como para una misma agua con caolín el intervalo de pH para el sulfato férrico es de 5.5 a 8.8 y para el sulfato de aluminio sólo de 6.8 a 7.5, esto debido a las distintas solubilidades de los agentes coagulantes.

La selección del coagulante en una planta determinada debe apoyarse en un trabajo experimental, sin olvidar el aspecto económico.

#### 2.5.5 Efecto de la mezcla

Para que el proceso de coagulación-floculación se lleve a cabo eficazmente se necesita que ocurran las dos etapas de mez

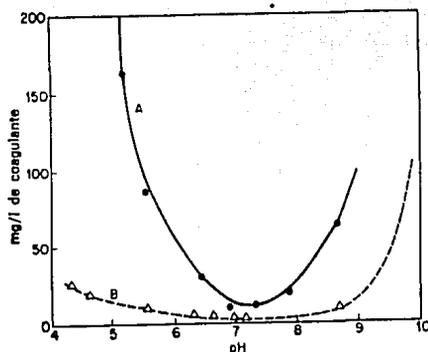


Fig 2.1. Coagulación de 50 mg/l de caolín con sulfatos de aluminio y férrico. Comparación de las zonas de pH para coagulación de la turbiedad de arcilla con sulfato de aluminio, curva A, y sulfato férrico, curva B. Los puntos de las curvas representan la dosificación de coagulantes necesaria para reducir la turbiedad de arcilla a la mitad de su valor original. (Adaptado de R.F. Packham, Proc. Soc. Dater Treat. Exam., 12:15 (1963)).

clado siguientes:

- 1) Al agregar el coagulante se necesita un mezclado perfecto e instantáneo, para que el coagulante se distribuya en toda el agua y se logre la coagulación.
- 2) Una vez que la coagulación se ha llevado a cabo, se re-

quiere de un mezclado moderado con el fin de facilitar la formación de flóculos mayores y de esta forma poder eliminarlos más fácilmente.

El adecuado mezclado en la coagulación-floculación no sólo hace más eficiente el proceso, sino que además ayuda a no desperdiciar reactivos inútilmente.

#### 2.6 Coagulantes metálicos

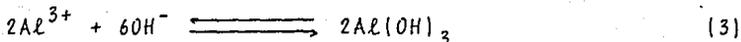
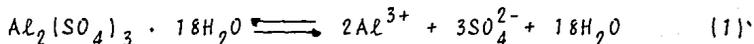
En el tratamiento de aguas residuales los coagulantes metálicos más empleados se dividen en:

- 1) Los basados en el aluminio, como el sulfato de aluminio, el alumbre de amonio, el alumbre de potasa y el aluminato sódico.
- 2) Los basados en el fierro, como el sulfato férrico, sulfato ferroso, el vitriolo verde clorado y el cloruro férrico.

A continuación se describen algunas propiedades de los principales compuestos utilizados como coagulantes. Las ecuaciones químicas que se exponen no son del todo representativas de la realidad, debido a la complejidad de especies que existen en las aguas residuales.

a) Sulfato de aluminio,  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$

En su forma comercial también se le conoce como alumbre y es el más empleado de todos los coagulantes. El producto comercial se expende en las formas troceada, molida, así como también en solución concentrada. Es fácilmente soluble en agua y se aplica en solución ó en seco. Las reacciones químicas entre el alumbre y los constituyentes del agua están influenciadas por muchos factores y por tanto, es imposible saber la cantidad de alumbre que reaccionará con una cierta cantidad de alcalinidad, sin embargo se puede plantear las siguientes reacciones hipotéticas como representación general:



agente coa-  
gulante

Como se puede apreciar la formación de la especie coagulante consume  $OH^-$ , lo que propicia la disminución del pH. A veces, para contrarrestar esta disminución se agrega cal hidratada, sosa ó carbonato de sodio. Como dato general se considera que 1 mg/l de alumbre reacciona con:

- 0.5 mg/l de alcalinidad natural representada como  $\text{CaCO}_3$
- 0.33 mg/l de cal viva al 85% como  $\text{CaO}$
- 0.39 mg/l de cal hidratada al 95% de  $\text{Ca(OH)}_2$

b) Alumbre líquido

Es una solución concentrada de alumbre en agua, contiene del 5.8 a. 8.5% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  hidrosoluble y 17% de alumbre cristalizado. Es barato, fácil de transportar, manipular, almacenar y aplicar.

c) Aluminato sódico

El aluminato sódico,  $\text{NaAlO}_2$ , difiere del alumbre en que su reacción es alcalina en vez de acida. Su composición es 88% de  $\text{NaAlO}_2$  y 12% de sosa caústica y carbonato de sodio. Su empleo no es muy frecuente. Se utiliza junto con alumbre y ácido sulfúrico en la coagulación de coloides con color. Se utiliza también para el ablandamiento del agua con cal y sosa.

d) Alumbre de potasa y alumbre de amoniaco

Sus fórmulas son  $Al_2(SO_4)_3 \cdot KSO_4 \cdot 24H_2O$  y  $Al_2(SO_4)_3 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O$  respectivamente, por lo regular se emplean sólo para tratamiento de agua de piscinas.

e) Sulfato férrico  $Fe_2(SO_4)_3$

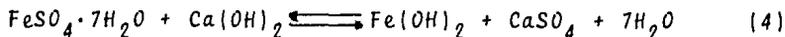
El sulfato férrico en su forma comercial es un material granulado anhidro, fácilmente soluble en agua. Se aplica en solución acuosa al 40% en peso de sulfato férrico. Por regla general los coagulantes férricos se aplican en un intervalo de pH que va de 4 a 11 (AWWA., 1975). Es especialmente útil para la eliminación del color a valores bajos de pH.

f) Sulfato ferroso  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$

Comúnmente conocido como vitriolo verde, se fabrica en forma de cristales ó en gránulos, ambos solubles en agua. Al disolverlo en agua forma el  $Fe(OH)_2$ , hidróxido ferroso, que se oxida a hidróxido férrico por medio de:

- 1) Aereación
- 2) Con el oxígeno disuelto en el agua
- 3) Al añadir cloro.

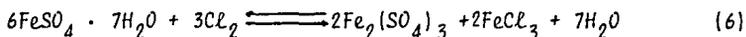
Sus reacciones más importantes son:



El sulfato ferroso se utiliza en coagulaciones que deban realizarse a valores de pH altos.

g) Vitriolo verde clorado

Se forma cuando se emplea cloro para oxidar el hidróxido ferroso obtenido del sulfato ferroso. El cloro reacciona con el hidróxido ferroso en un intervalo amplio de pH. En la práctica el sulfato ferroso y el cloro se alimentan por separado y se mezclan poco antes de introducirlos al sistema de coagulación. La reacción con el cloro es la siguiente:



El vitriolo verde se utiliza en las plantas donde se requiere de una precloración y tiene la ventaja de que la coagulación se puede llevar a cabo en un intervalo de pH de 4 a 11 (AWWA, 1975).

### 3. PARTE EXPERIMENTAL

#### 3.1 *Determinación de la dosis óptima de coagulante en el laboratorio*

Esta etapa comenzó con la determinación, en el laboratorio, de la dosis recomendada de coagulante mediante la prueba de jarras. Esta prueba consiste en tomar muestras de agua residual y someterlas al siguiente proceso.

- Colocar seis muestras de agua residual en el aparato de jarras (fig 3.1).
- Añadir a cada una de ellas distintas concentraciones de sulfato de Aluminio (coagulante).
- Agitar 15 segundos a 100 rpm y después 15 minutos a 20

' rpm. Dejar sedimentar 30 minutos.

- Por último se toman muestras de agua cuidando no remover los sólidos del fondo, y se le determina la turbiedad del sobrenadante.

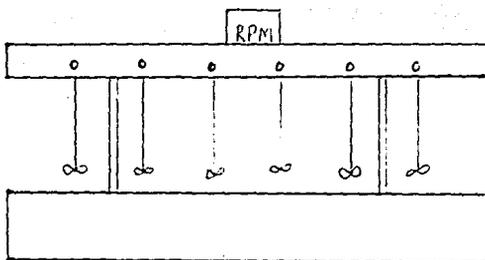


Fig. 3.1. Aparato de Jarras

Con el procedimiento anterior se trazó la gráfica de turbiedad remanente vs dosis de coagulante empleada. De la curva

resultante se obtuvo la dosis con la cual se tiene el mejor efluente.

Al realizar las pruebas de jarras se encontró que existen dos intervalos, de dosis de coagulante, que producen turbiedad mínima. Estos resultados se pueden apreciar en la figura 3.2.

Se observa que para las dosis entre los intervalos de 10 a 15 mg/l con filtración del sobrenadante y de 90 a 100 mg/l con sólo sedimentación, los valores correspondientes de turbiedad del efluente son los más bajos.

Posteriormente se procedió a realizar corridas experimentales en los filtros piloto con dosis de coagulante situadas en estos intervalos, con el fin de ratificarlos.

### *3.2 Determinación de la dosis óptima de coagulante en los filtros piloto*

Una vez que se obtuvo la dosis de coagulante en el laboratorio, se procedió a operar los filtros piloto bajo las condiciones mostradas en la Tabla 3.1.

Para mayor representatividad se realizó cada corrida por duplicado, efectuándose un total de once corridas.

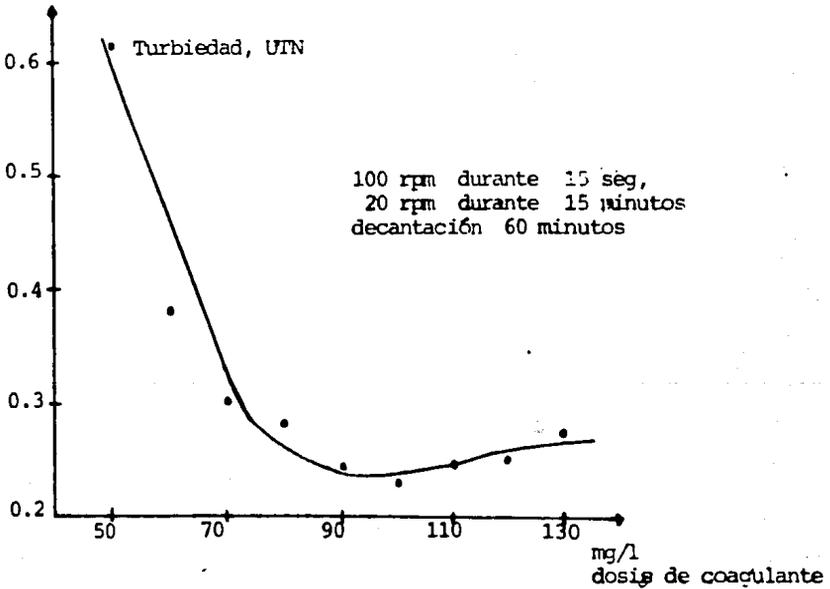
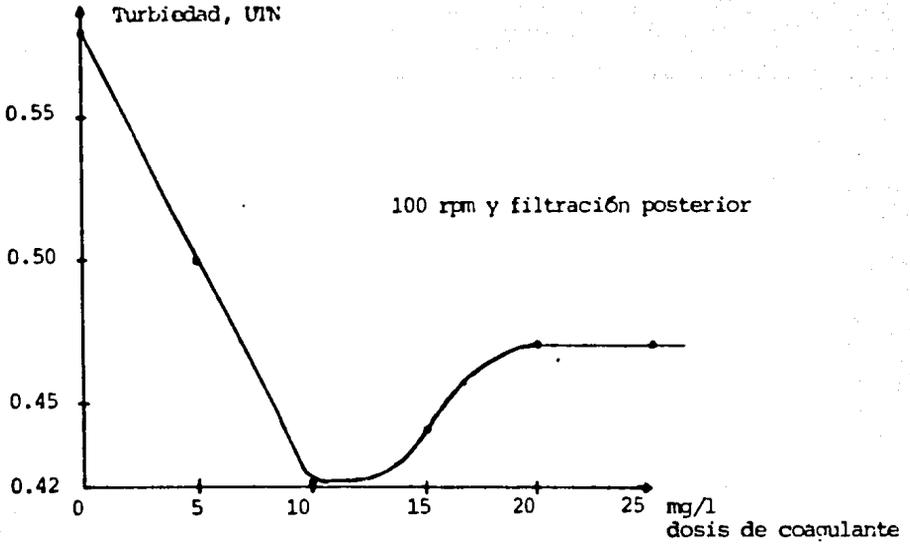


Figura 3.2. Resultados de las pruebas de jarras

**TABLA 3.1. CONDICIONES DE OPERACION EMPLEADAS EN LOS FILTROS PILOTO**

Flujo del efluente l/s	Velocidad de filtración m/h	Dosis de coagulante mg/l
0.175	2.5	15
0.35	5.0	15
0.35	5.0	80
0.35	5.0	90
0.35	5.0	100
0.70	10.0	90

Al inicio de cada corrida se fijó la velocidad mediante la válvula de descarga del filtro, midiendo el gasto mediante aforos.

Se trabajó con una carga hidráulica de 100 cm c.a. ya que en un trabajo anterior se había obtenido este valor como adecuado (Huerta y Avila, 1987).

El parámetro que se utilizó para seguir la evolución de la corrida fue la caída de presión ( $\Delta P$ ). Cuyo valor máximo (100 cm  $H_2O$ ) indica el término de la corrida por falta de carga hidráulica. Por ello, los 100 cm c.a. medidos con la ayuda de piezómetros se dividieron entre el número de mues-

tras que se quería obtener y para cada incremento de  $\Delta P$  de aproximadamente 6 cm c.a. se hizo lo siguiente:

- 1) Muestreo de agua residual a diferentes alturas del lecho (100 a 200 ml)
- 2) Registro del tiempo de duración de la corrida
- 3) Determinación del  $\Delta P$  a lo largo del lecho
- 4) Medición del flujo de descarga.

Es importante recordar que a lo largo del filtro existen cinco puntos de muestreo y que la sexta muestra corresponde al efluente.

Las determinaciones realizadas se indican en la Tabla 3.2.

La turbiedad se midió con la ayuda de un turbidímetro HF modelo DRT-15B con una precisión de 0.02 UTN y la cuantificación de sólidos suspendidos totales mediante un método gravimétrico (Standard Methods, 1985).

TABLA 3.2. DETERMINACIONES EFECTUADAS

Corrida	Turbiedad			Sólidos suspendidos totales	
	Inf.	Perfil	Efl.	Inf.	Efl.
1	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x
4	x	x	x	x	x
5	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x
9	x	x	x	x	x
10	x	x	x	x	x
11	x	x	x	x	x

Inf. = influente

Efl. = efluente

### 3.3 Dosificación del coagulante

Para la introducción del coagulante fue necesario instalar una bomba dosificadora que lo inyectara por medio de un tubo distribuidor al influente del filtro. Con esto se logró la mezcla del reactivo y el tiempo de floculación necesario, antes de que el influente llegara al lecho filtrante (Tabla 3.3).

TABLA 3.3. CONDICIONES DE LA DOSIFICACION DEL COAGULANTE

Corrida No.	Velocidad de filtración m/h	Dosis de coagulante mg/l	Flujo de la bomba dosificadora ml/min	Concentración de la solución de coagulante g/l	Tiempo de floculación min
1	2.5	15	15	10.5	23.8
2	5	15	15	21.0	11.9
3	5	15	15	21.0	11.9
4	5	80	30	56.0	11.9
5	5	80	30	56.0	11.9
6	5	90	30	63.0	11.9
7	5	90	30	63.0	11.9
8	5	100	45	46.7	11.9
9	5	100	45	46.7	11.9
10	10	80	60	56.0	5.95
11	10	80	60	56.0	5.95

Se prepararon soluciones de sulfato de aluminio con distintas concentraciones que dependían de la dosis de coagulante deseada, siempre y cuando no se rebasaran los valores de solubilidad del sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ ) (Perry, 1972).

### 3.4 Descripción de los filtros piloto

En la parte experimental de este trabajo se emplearon dos filtros idénticos de lámina de acero de 3 mm de espesor, 5.35 m de altura y de  $0.25 \text{ m}^2$  de área transversal (0.5 x 0.5 m).

Cuentan con una placa de acrílico en la cara frontal de 0.6 m de base, 2.4 m de altura y 18 mm de espesor (fig 3.3). En la cara B (fig 3.4) de los filtros se encuentran 6 boquillas de 1.5" de diámetro, con el fin de mantener el nivel de agua a la altura deseada.

Se cuenta con mangueras de 1 3/4" de diámetro como accesorios para la descarga de agua de nivel, agua filtrada y agua de lavado. Se cuenta con siete piezómetros (fig 3.5) que se utilizan para indicar la pérdida de carga a distintas alturas del lecho y para tomar muestras de agua en cada una de estas alturas. Los piezómetros cuentan con mangueras de 0.01 m de diámetro fijadas a una tabla (C) de 0.35 m x 4.0 m (fig 3.5) la cual tiene adherida una escala en cm. para leer la altura del agua en cada nivel. La localización de los piezómetros se encuentra acotada en la fig 3.4.

Para efectuar la alimentación del agua a los filtros se cuenta con una línea de tubería de 2.5", desde el sedimentador del sistema de lodos activados hasta el filtro, el agua se hace circular con una bomba centrífuga trifásica de 1 HP situada a la descarga del sedimentador secundario del sistema de lodos activados de la PTCU.

Para regular el flujo de alimentación la bomba tiene una recirculación de agua que en combinación con las válvulas de ali-

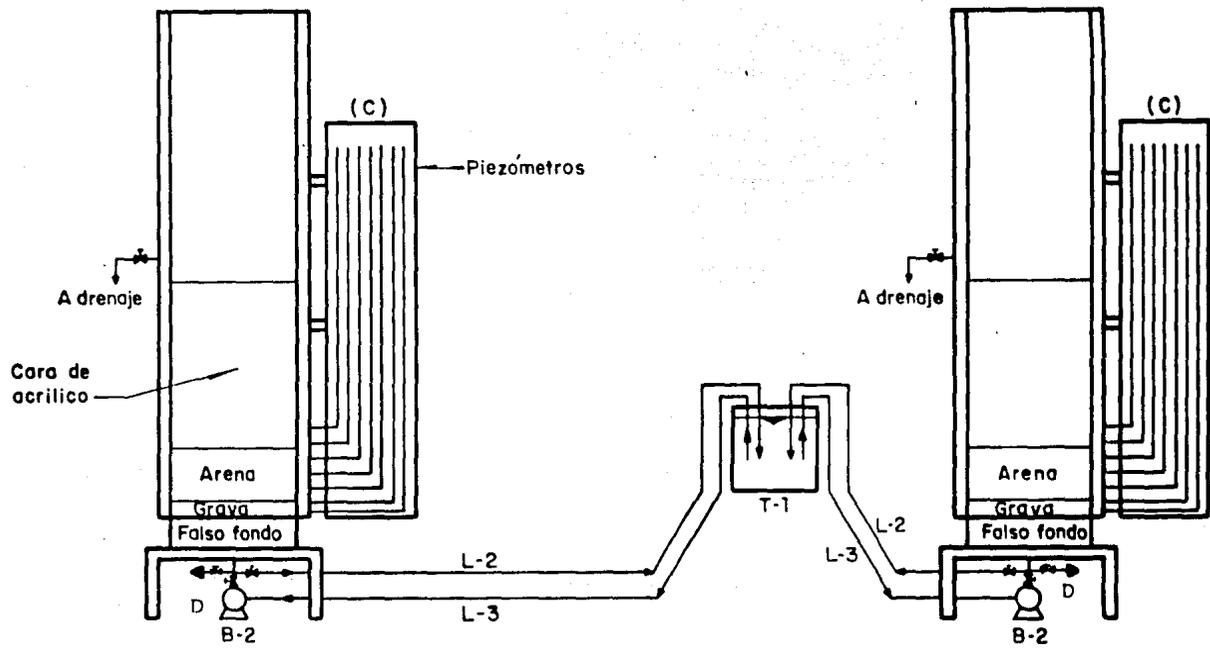
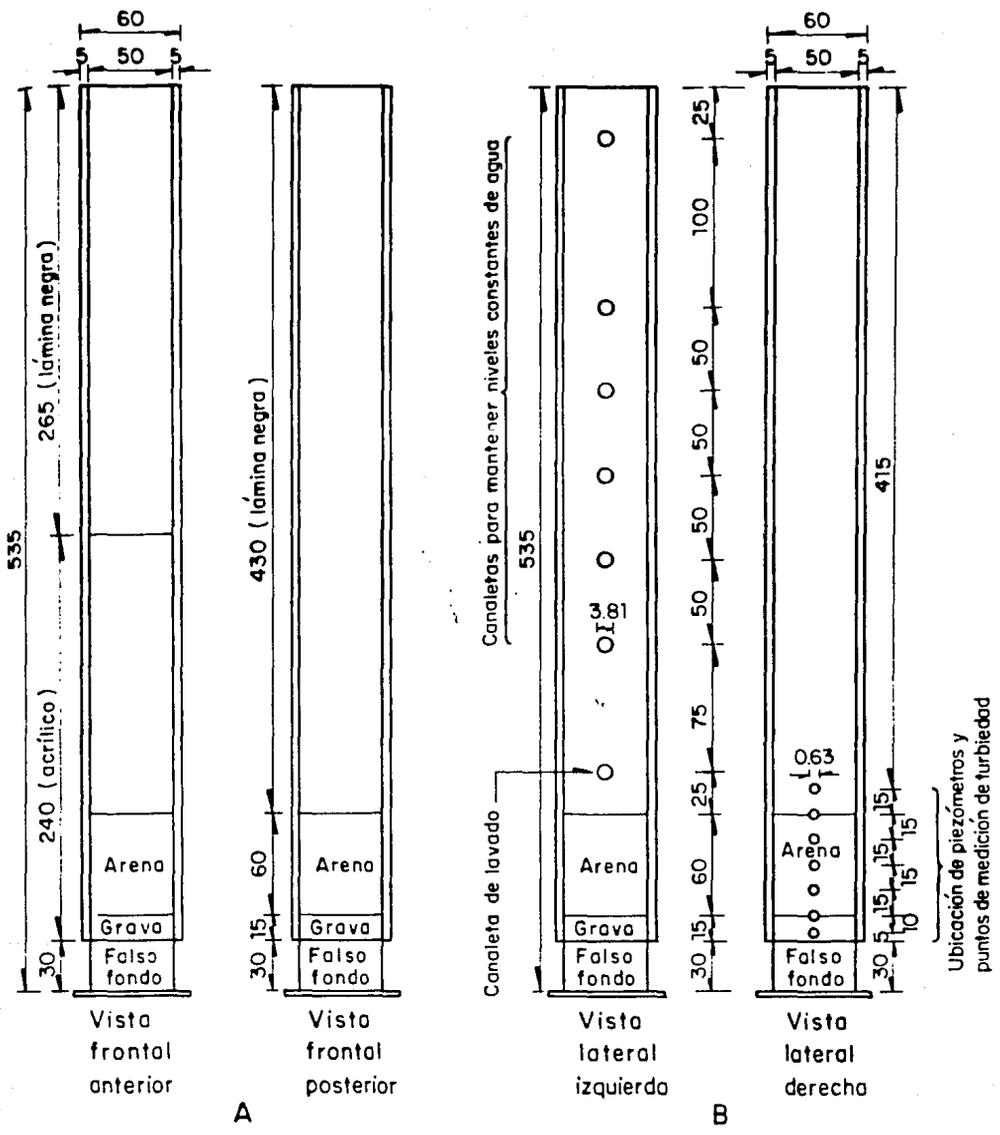


Fig. 3.3. Filtros Piloto. Vista General



Acotaciones, en cm

Fig. 3.4. Filtros Piloto. Vistas Laterales

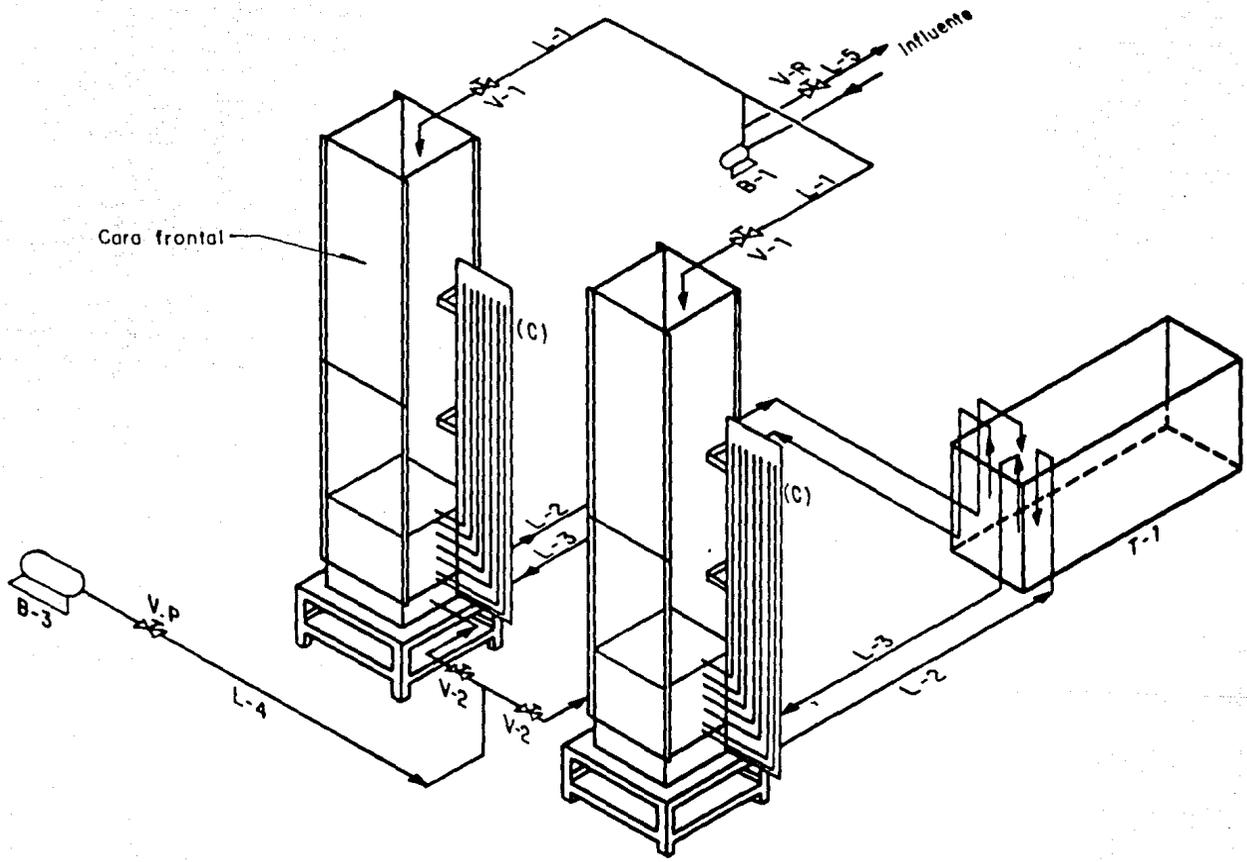


Fig. 3.5. Filtros Piloto. Perspectiva

mentación de los filtros se logra que cada filtro reciba el flujo de agua deseado. Además, la bomba cuenta con una válvula check para evitar problemas por falta de agua en la succión.

Dentro del filtro se encuentra el medio filtrante colocado sobre un soporte enrejado de acero; abajo existe un falso fondo de 0.3 m de altura en el cual se localiza un conjunto de tubos polihoradados en forma de estrella que tiene la función de distribuir el aire que se utiliza en el lavado del filtro. En la parte inferior del filtro se encuentra la descarga de agua filtrada por medio de un tubo de 1 1/4", en este mismo lugar hay una ramificación de 1" de diámetro que se utiliza para alimentar el agua de lavado. En la línea de descarga de agua filtrada se encuentra una válvula de compuerta por medio de la cual se fija el flujo al cual se va a realizar la corrida.

Por último, para efectuar el retrolavado se cuenta con una línea de aire comprimido conectada directamente al falso fondo y con una bomba monofásica de 1/2 HP para alimentar el agua de lavado. El flujo de aire comprimido se efectúa mediante un regulador a la salida de la compresora que tiene la PTCU.

#### 4. ANALISIS DE RESULTADOS

Todos los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 4.1.

##### 4.1 *Relación entre la concentración de coagulante y la eficiencia de filtración*

De acuerdo con la Fig 4.1, la eficiencia de filtración en eliminación de sólidos suspendidos presenta un óptimo para el valor de 90 mg de sulfato de aluminio/l.

En cambio, de acuerdo con la Fig 4.2 cuando se emplearon valores de turbiedad, en lugar de sólidos, se obtuvo que al aumentar la dosis de coagulante la eficiencia siempre aumenta. Así, se tiene que para una dosis de 82 mg/l la eficiencia es de 63% y que al aumentar a 98 mg/l ésta se incrementa a 89%. Lo anterior se explica por que al aumentar la do

TABLA 4.1. RESUMEN DE DATOS

Tasa de filtración		Dosis	Duración	Turbiedad UIN		Eficiencia	SST mg/l		Eficiencia
m/h	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d	mg Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	h	Inf.	Ef.	% UIN	Inf.	Ef.	% Remoción
2.5	60	15	21.7	1.1	0.23	79	8	1.7	79
5.0	120	15	5.8	3.2	0.54	83	14	2.4	83
5.0	120	14	8.4	2.4	0.60	75	18	4.7	74
5.0	120	92	2.7	1.0	0.17	83	12	2.0	83
5.0	120	90	2.2	1.5	0.16	89	33	3.6	89
5.0	120	83	2.3	1.5	0.43	71	—	—	—
5.0	120	82	2.6	1.7	0.39	77	20	4.6	77
5.0	120	98	3.4	1.9	0.46	76	14	3.4	76
5.0	120	96	4.0	1.8	0.31	83	14	2.4	83
10.0	240	89.4	1.0	1.2	0.56	53	14	6.7	53
10.0	240	85.2	1.0	1.2	0.18	85	14	2.0	85

$\bar{X}$	1.68	0.366	77.6	16.1	3.35	70.5
$\sigma$	0.65	0.165	9.65	6.74	1.59	23.99
Valor máximo	2.4	0.60	89	33	6.7	89
Valor mínimo	1.0	0.16	53	8	1.7	53

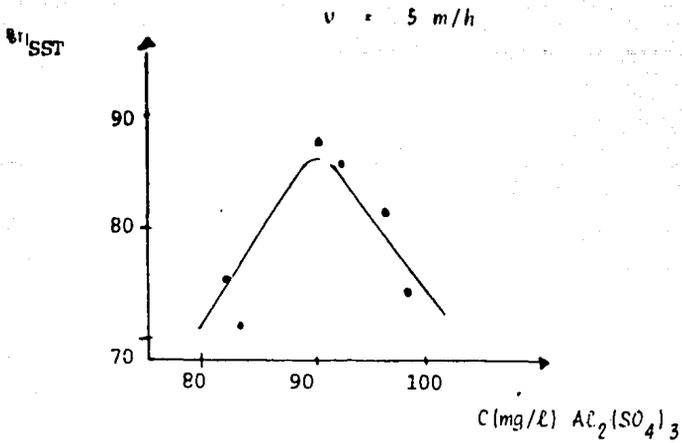


Figura 4.1. Relación entre concentración de coagulante y eficiencia de filtración. Sólidos suspendidos.

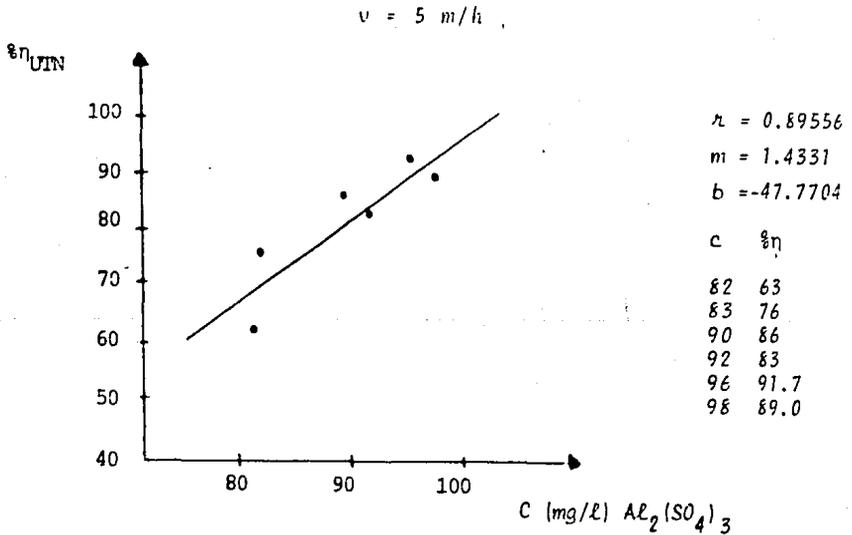


Figura 4.2. Relación entre concentración de coagulante y eficiencia de filtración. Turbiedades

sis de coagulante el tamaño de los flóculos también lo hace por lo que la turbiedad del efluente disminuye y la eficiencia aumenta. En sólidos lo anterior no se detecta ya que si al inicio del aumento del coagulante existe una mejora en la calidad del efluente al final ésta decrece debido probablemente a una mala formación del flóculo, que impide retener con fuerza los finos.

#### 4.2 Relación entre la velocidad de filtración, la concentración de coagulante y la eficiencia de remoción

Durante la experimentación se utilizaron tres velocidades de filtración: 2.5 m/h, 5.0 m/h y 10 m/h y en general se encontró que a mayor velocidad la eficiencia de remoción disminuye. Así, la eficiencia promedio para la dosis de 90 mg/l resultó de 86%, para la velocidad de 5 m/h y de sólo 69% para 10 m/h.

Esto se puede deber a que a mayor velocidad el tiempo de flokulación es menor y por lo tanto no se forman mejor los flóculos.

#### 4.3 Relación entre la concentración de coagulante y la duración de la corrida

Los resultados de concentración de coagulante y duración de corrida, se pueden apreciar en la fig 4.3.

Para la velocidad y dosis de coagulante menores ( $v = 2.5$  m/h; dosis = 15 mg/l) la duración de la corrida es la mayor (21.7 horas), mientras que al aumentar la dosis de coagulante a 90 mg/l la duración disminuye a una hora (para una velocidad de 10 m/h). Así se tiene que al aumentar la cantidad de coagulante el tamaño de los flóculos aumenta atascando el medio rápidamente.

En el caso de una misma velocidad (5 m/h) observamos que, primero al aumentar la dosis de coagulante la duración disminuye pero que al rebasar el valor de 90 mg/l la duración aumenta.

Por tanto al alejarse de la dosis óptima y subir a 100 mg/l la coagulación es probablemente mala y los flóculos formados son más pequeños y débiles provocando que el filtro tarde más en atascarse.

Duración de  
la corrida

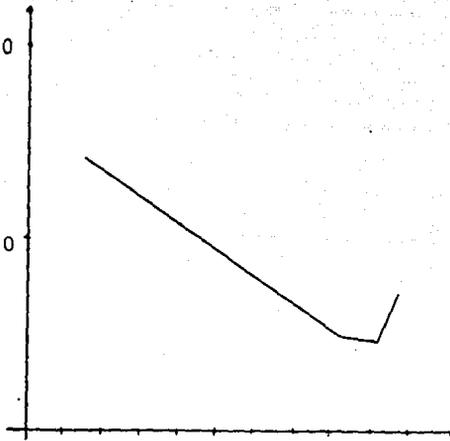
(h)

10.0

5.0

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Dosis de coagulante  
(mg/l)



Duración de  
la corrida (h)

20

10

5

10

Velocidad de  
filtración

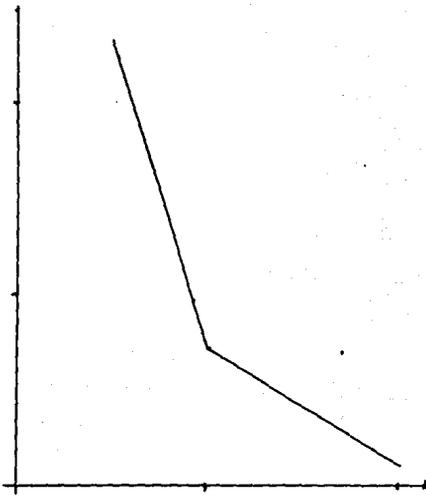


Fig. 4.3. Relación entre la concentración de coagulante y la duración de la corrida

#### *4.4 Relación entre la duración de la corrida, la eficiencia de remoción y la pérdida de carga*

De acuerdo con las figuras 4.4 y 4.5 se observa que en todas las corridas, la eficiencia de remoción se mantuvo más o menos constante a lo largo de toda la corrida, por lo que el paro de la operación se ocasionó siempre por la falta de carga en el filtro.

#### *4.5 Relación entre la altura del medio, la pérdida de carga y la duración de la corrida*

En las figuras 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 se observa que la mayor pérdida de carga ocurre para todas las corridas, en los primeros 24 cm del lecho. En el resto la pérdida de carga es casi constante. Esto significa que para el tamaño efectivo de 0.66 mm las primeras capas son las que realizan la mayor parte de la retención de sólidos.

#### *4.6 Turbiedad del influente y del efluente a lo largo de las corridas de filtración*

En las figuras 4.10 y 4.11 se observa que la turbiedad del efluente se mantuvo casi constante y siempre inferior a 1 UTN, a pesar de que la turbiedad del influente se incrementó. Estos resultados demuestran que el coagulante ayuda a

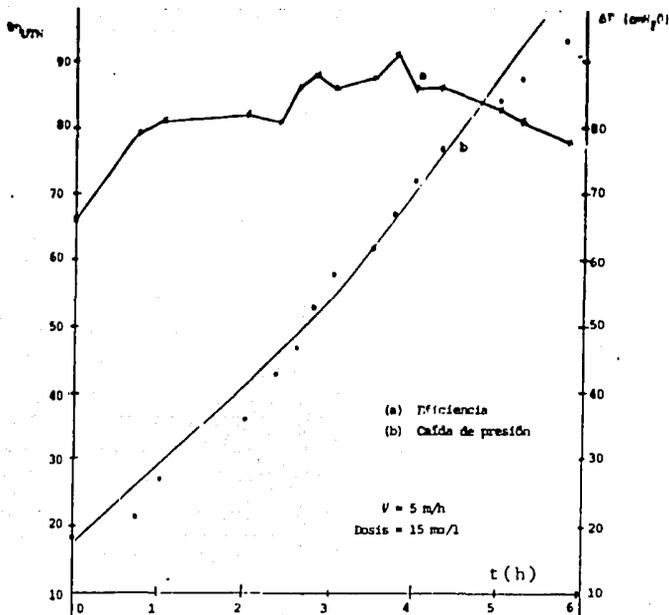


Fig. 4.4. Relación entre la duración de la corrida, la eficiencia de remoción y la pérdida de carga

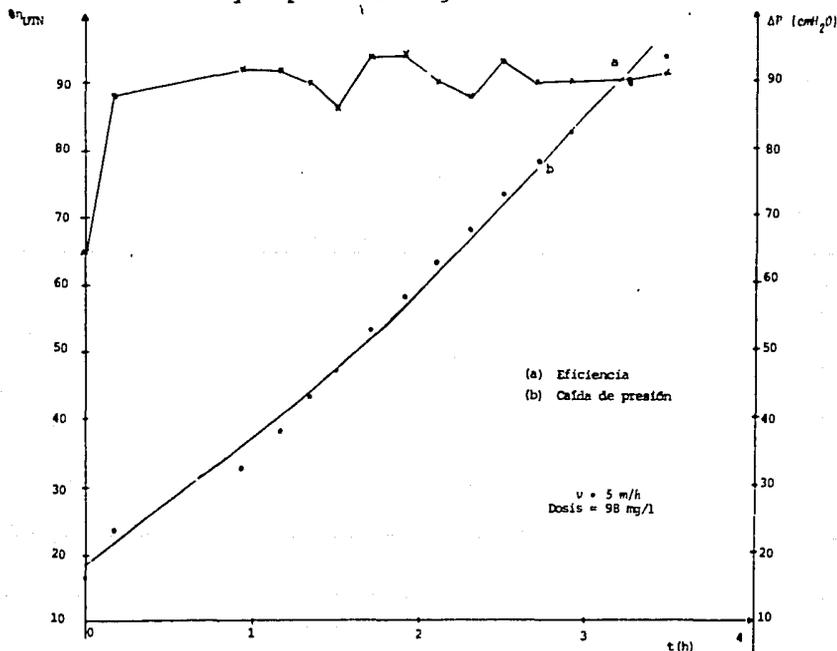


Fig 4.5. Relación entre la duración de la corrida, la eficiencia de remoción y la pérdida de carga

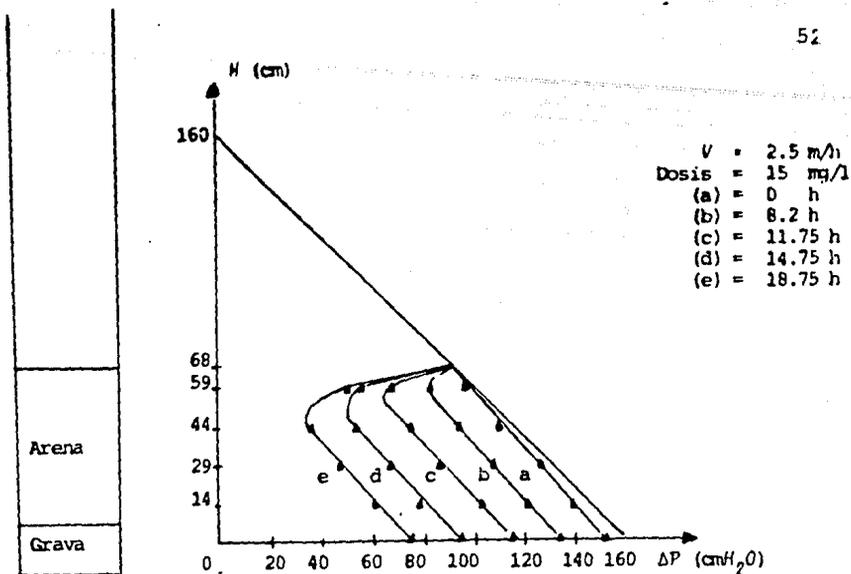


Fig. 4.6. Relación entre la altura del medio, la pérdida de carga y la duración de la corrida. ( $v = 2.5 \text{ m/h}$ ).

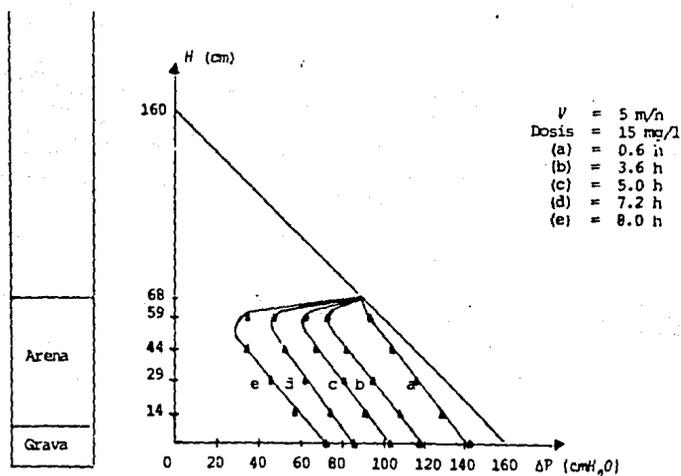


Fig. 4.7. Relación entre la altura del medio, la pérdida de carga y la duración de la corrida ( $v = 5 \text{ m/h}$ ).

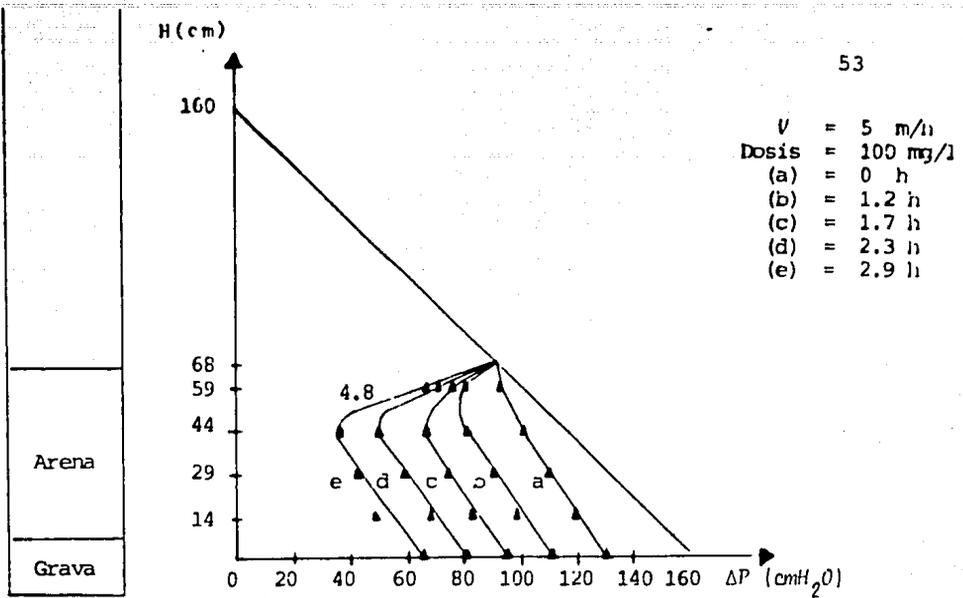


Fig. 4.8. Relación entre la altura del medio, la pérdida de carga y la duración de la corrida ( $v = 5 \text{ m/h}$ )

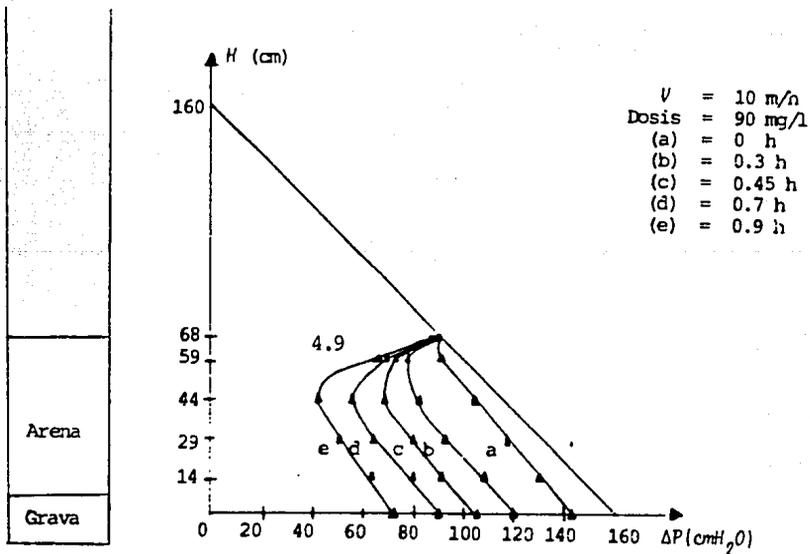


Fig. 4.9. Relación entre la altura del medio, la pérdida de carga y la duración de la corrida ( $v = 10 \text{ m/h}$ )

absorber los cambios en la turbiedad del influente y por lo tanto no se tienen drásticas fluctuaciones en la eficiencia.

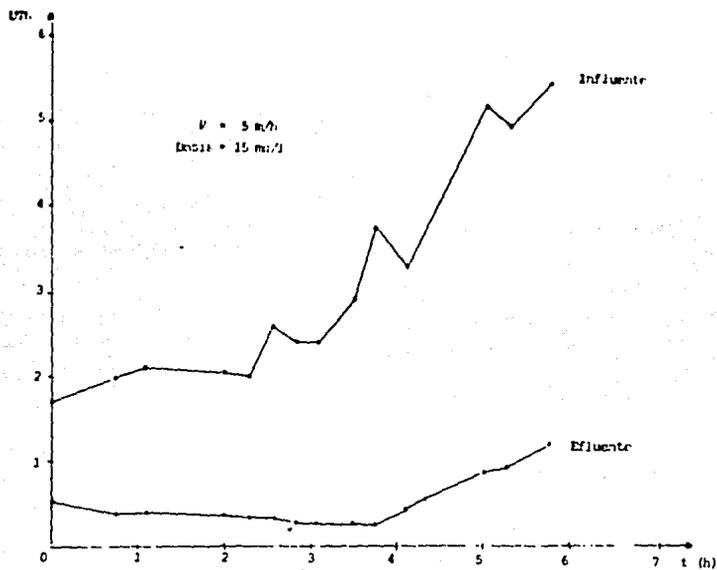


Figura 4.10. Variación de la turbiedad del influente y efluente a lo largo de la corrida.

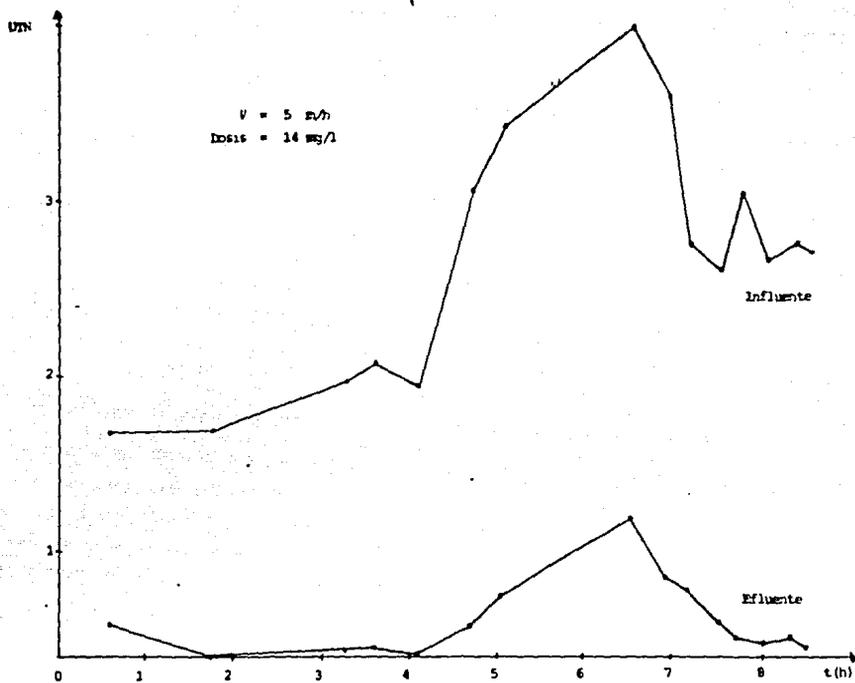


Figura 4.11. Variación de la turbiedad del influente y efluente a lo largo de la corrida.

#### 4.7 Cantidad de agua producida y cantidad de agua de lavado para las corridas experimentales

Esta información se resume en la Tabla 4.3.

TABLA 4.3. CANTIDAD DE AGUA PRODUCIDA, CANTIDAD DE AGUA UTILIZADA PARA EL LAVADO EN LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES  $v_{\text{lavado}} = 24 \text{ m/h}$ .

$v$ , m/h	Dosis de Coagulante (mg/l)	agua producida ( $\text{m}^3$ )	agua utilizada para lavado ( $\text{m}^3$ )	% de agua utilizada
2.5	15	13.31	1.0	7.5
5.0	15	7.25	1.0	13.8
5.0	14	10.50	1.0	9.5
5.0	92	3.38	1.0	29.5
5.0	90	2.75	1.0	36.4
5.0	83	2.88	1.0	34.7
5.0	82	3.25	1.0	30.8
5.0	98	4.25	1.0	23.5
5.0	96	5.00	1.0	20
10.0	90	2.50	1.0	40
10.0	90	2.50	1.0	40

La mayor cantidad de agua se produjo en la corrida con velocidades y dosis bajas (2.5 m/h, 15 mg/l), esto quiere decir que en estas condiciones el flóculo se forma con una mejor consistencia; y le permite penetrar mejor, filtrando una mayor cantidad de agua al ser el atascamiento más lento, logrando entonces una buena relación agua producida/agua consumida por lavado.

En términos de producción sería sólo la primer corrida la única interesante.

#### 4.8 Cantidad de sólidos retenidos en el medio filtrante

Estos resultados se resumen en la Tabla 4.4.

TABLA 4.4. CANTIDAD DE SOLIDOS RETENIDOS POR VOLUMEN DE LECHO FILTRANTE.

$v_f$ (m/h)	Dosis de coagulante	gSS/m <sup>3</sup>
2.5	15	541.7
5.0	15	860.6
5.0	14	238.8
5.0	92	514.4
5.0	90	291.7
5.0	83	329.4
5.0	82	301.4
5.0	98	357.4
5.0	96	528.5
10.0	90	146.1
10.0	90	155.3
	$\bar{X}$	387.8
	$\sigma$	209.5

Como se observa en la Tabla 4.4 al aumentar la velocidad de filtración, la cantidad de sólidos retenidos en el medio baja; hecho que se debe a que a velocidades mayores los floculos no penetran adecuadamente en el medio y teniendo duraciones de corrida cortas.

Es interesante señalar que cuando la dosis de coagulante se encuentra cerca de los valores encontrados en la prueba de

jarras (100 mg/l y 15 mg/l) la cantidad de sólidos retenidos en el medio aumenta. Así que para una  $v = 5$  m/h a la dosis de 15 mg/l los sólidos retenidos son  $589 \text{ g SS/m}^3$  en promedio y a esa misma velocidad pero con una dosis de 96 mg/l y 98 mg/l la cantidad de sólidos es de  $442.9 \text{ g SS/m}^3$  en promedio.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso de coagulantes en la filtración directa puede ofrecer ventajas operacionales para el tratamiento de las aguas residuales, en especial sobre la eficiencia.

Los resultados experimentales obtenidos conducen a conclusiones claras; sin embargo, en la práctica no son del todo aplicables ya que es necesario considerar además, de los parámetros teóricos, el factor económico y operativo. En efecto, es necesario hacer un balance entre la ventaja de obtener un mayor rendimiento contra las desventajas de un decremento en la duración de la corrida y por tanto, en la producción del agua.

Para el uso de sulfato de aluminio como coagulante se llegó a los siguientes apartados:

- 1) La mejor condición, con un medio de talla efectiva 0.66, para trabajar es de 15 mg/l de coagulante, velocidad de filtración de 5 m/h.
- 2) Es preferible usar dosis de coagulante bajas con eficiencias no muy alta pero tener corridas de filtración más largas y por lo tanto rentables.
- 3) Trabajar con velocidades de filtración bajas permite una formación más compacta de los flóculos y una mejor penetración en el medio.
- 4) El uso de un coagulante metálico da una mayor estabilidad al efluente, ya que a pesar de las variaciones en concentración de sólidos en el influente la calidad del efluente se conserva.
- 5) Para obtener mejores resultados es la operación de filtrado es necesario aumentar la talla efectiva del medio filtrante, para tener un mejor aprovechamiento del lecho. Bajo estas condiciones se podría aumentar la cantidad de coagulante y tener mayor eficiencia con corridas más largas.
- 6) La dosis de coagulante encontrada en el análisis en el laboratorio es semejante a la obtenida en el trabajo de

de campo por lo que resulta un buen apoyo para el diseño.

## BIBLIOGRAFIA

1. Arboleda "Manual de tratamiento de aguas potables. Programa de educación de Ingeniería Sanitaria". Caracas, Venezuela, Publicación 30.
2. Avila, M.G. y Huerta D.J. (1986) Tesis. Estudio de la filtración de los efluentes secundarios de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de C.U.
3. AWWA, ASCE, CSSE (1969). "Water treatment Plant". Publicado por AWWA. Inc. New York, N.Y.
4. AWWA (1968) "Agua, su calidad y su tratamiento". Manual preparado por la AWWA, UTEHA.
5. Baylis John R., Gullans O. y Hudson H.E.Jr. (1975). "Control de calidad y tratamiento de agua". AWWA. Madrid.
6. Degremont (1973) "Manual técnico del agua".
7. Fair, Geyer y Okun D. (1979) "Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales". 3a. Edición, Ed. Limusa.

8. Foust Alan S. Wenzel Leonard A, Clump C.W., Maus L. y Bryce A. (1984) "Principios de operaciones unitarias". Ed. Continental S.A. de C.V. Decimosexta impresión.
9. Frank N. Keemer. "Manual del Agua". U.S.A., 1979. Mc Graw-Hill.
10. Gordon, Maskew, Sair. "Ingeniería Sanitaria de aguas residuales". Vol. 1. "Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales". 1980. Ed. Limusa.
11. Gordon, Maskew Sair. "Ingeniería Sanitaria de Aguas Residuales". Vol. 2. "Purificación de aguas y tratamiento de aguas residuales". 1980. Ed. Limusa.
- 12) McCabe-Smith (1963) "Operaciones Unitarias de Ingeniería Química". Mc Graw-Hill.
13. Metcalf y Eddy (1977). "Tratamiento y depuración de las aguas residuales". Ed. Labor, S.A.
14. Montgomery James M. (1985). "Water treatment, principles and design". Inc. A. Wiley Interscience Publications.

15. Nordell Eskel. Tratamiento de aguas para la Industria y otros Usos". México, 1965. C.E.C.S.A.
16. Perry Robert H. "Manual del Ingeniero Químico". Ed. 1972. Mc Graw-Hill.
17. Standard Methods (1985).
18. Weber Walter J. (1979). Control de la calidad del agua, procesos fisicoquímicos". Ed. Reverté, S.A.

**ANEXO I. RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS CORRIDAS EXPERIMENTALES.**

Corrida: 1

Duración: 5.75h

S.S.T. inf = 14

$\bar{r}$  filtración:  $5 \frac{m}{h}$

$Q_i = 0.35 \frac{l}{s}$

$\% \eta_{s.s.T.} = 62.8$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Dosis:  $15 \frac{mg}{l}$

$\% \eta_{s.s.T.} = 82.8$

$\% \eta_r = 82.5$

Fecha: 20 OCT 87.

hoja: 1

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	1.70	0	-
$t = 0$	2	0.99	3.5	-
$H = 11:30$	3	0.60	7.5	3
$\eta_{ur} = 0.659$	4	0.56	10	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.785$	5	0.55	14	-
$\eta_{s.s.T.} = 1.0$	6	0.54	16.5	0
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	1.94	0	-
$t = 0.75 h$	2	0.76	9.5	-
$H = 12:15$	3	0.57	13	9
$\eta_{ur} = 0.784$	4	0.49	16.5	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.557$	5	0.42	19.5	-
$\eta_{s.s.T.} = 1.0$	6	0.40	21.5	0
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	2.10	0	-
$t = 1.083 h$	2	0.60	12.5	-
$H = 12:35$	3	0.56	18	4
$\eta_{ur} = 0.805$	4	0.51	22	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.714$	5	0.43	25	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.785$	6	0.41	27	3

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.33 \frac{l}{s}$	1	2.08	0	-
$t = 2.0 h$	2	0.70	22	-
$H = 13:30$	3	0.51	28	5
$\eta_{ur} = 0.815$	4	0.47	32	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.642$	5	0.42	35	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.714$	6	0.38	36	4
$Q = 0.33 \frac{l}{s}$	1	2.00	0	-
$t = 2.33 h$	2	0.81	28	-
$H = 13:50$	3	0.42	34.5	6
$\eta_{ur} = 0.805$	4	0.39	39.5	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.571$	5	0.39	41	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.785$	6	0.37	43	3
$Q = 0.33 \frac{l}{s}$	1	2.60	0	-
$t = 2.58 h$	2	0.81	31.5	-
$H = 14:05$	3	0.51	39.5	6
$\eta_{ur} = 0.858$	4	0.40	42	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.571$	5	0.38	44.5	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.928$	6	0.37	47	1

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.33 \frac{l}{s}$	1	2.50	0	-
$t = 2.633 h$	2	1.09	37	-
$H = 14:20$	3	0.45	45	7
$\eta_{ur} = 0.876$	4	0.36	49.5	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.500$	5	0.34	51	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.571$	6	0.31	53	6
$Q = 0.325 \frac{l}{s}$	1	2.50	0	-
$t = 3.083 h$	2	1.26	40	-
$H = 14:35$	3	0.60	49.5	2
$\eta_{ur} = 0.856$	4	0.51	53	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.857$	5	0.39	56	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.928$	6	0.36	58	1
$Q = 0.32 \frac{l}{s}$	1	2.90	0	-
$t = 3.5 h$	2	1.55	44	-
$H = 15:00$	3	0.46	53.5	10
$\eta_{ur} = 0.872$	4	0.44	57	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.285$	5	0.39	60	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.714$	6	0.37	62	4

Corrida: 1

$\eta$  filtración:  $0 \frac{m}{h}$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Fecha: 20 OCT 87

Duración: 5.75 h

$Q_i$ :  $0.35 \frac{l}{s}$

Dosis:  $15 \text{ mg/l}$

hoja: 2

DATOS DE CONTROL	$Q_0$ $\frac{m^3}{h}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.31 \frac{l}{s}$	1	3.75	0	-
$t = 3.75 \text{ h}$	2	1.45	48	-
$H = 15:15$	3	0.50	58	2
$\eta_{\text{U.T.}} = 0.907$	4	0.35	61.5	-
$\eta_{\text{S.S.T.}} = 0.857$	5	0.34	64.5	-
$\eta_{\text{S.S.T.E}} = 0.928$	6	0.29	67	1
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	3.29	0	-
$t = 4.083 \text{ h}$	2	1.05	50.5	-
$H = 15:35$	3	0.69	62.5	4
$\eta_{\text{U.T.}} = 0.863$	4	0.50	68.5	-
$\eta_{\text{S.S.T.}} = 0.714$	5	0.48	70.5	-
$\eta_{\text{S.S.T.E}} = 0.857$	6	0.45	72	2
$Q = 0.28 \frac{l}{s}$	1	3.71	0	-
$t = \begin{matrix} 4.333 \\ 4.33 \text{ h} \end{matrix}$	2	2.43	55	-
$H = 15:50$	3	0.70	68	4
$\eta_{\text{U.T.}} = 0.849$	4	0.58	71	-
$\eta_{\text{S.S.T.}} = 0.714$	5	0.56	73.5	-
$\eta_{\text{S.S.T.E}} = 1.0$	6	0.56	77	0

DATOS DE CONTROL	$Q_0$ $\frac{m^3}{h}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.28 \frac{l}{s}$	1	5.18	0	-
$t = 5.0 \text{ h}$	2	3.32	59	-
$H = 16:30$	3	1.15	75	4
$\eta_{\text{U.T.}} = 0.834$	4	0.93	79	-
$\eta_{\text{S.S.T.}} = 0.714$	5	0.86	82	-
$\eta_{\text{S.S.T.E}} = 0.928$	6	0.85	84	1
$Q = 0.28 \frac{l}{s}$	1	4.40	0	-
$t = 5.25 \text{ h}$	2	3.60	61.5	-
$H = 16:45$	3	1.29	78	6
$\eta_{\text{U.T.}} = 0.812$	4	1.10	82	-
$\eta_{\text{S.S.T.}} = 0.571$	5	1.00	85	-
$\eta_{\text{S.S.T.E}} = 0.642$	6	0.92	87	5
$Q = 0.28 \frac{l}{s}$	1	5.40	0	-
$t = 5.75 \text{ h}$	2	4.50	66	-
$H = 17:15$	3	2.30	84	6
$\eta_{\text{U.T.}} = 0.778$	4	1.43	88	-
$\eta_{\text{S.S.T.}} = 0.571$	5	1.34	91	-
$\eta_{\text{S.S.T.E}} = 0.642$	6	1.20	93	5

DATOS DE CONTROL	$Q_0$ $\frac{m^3}{h}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q =$	1			
$t =$	2			
$H =$	3			
$\eta_{\text{U.T.}} =$	4			
$\eta_{\text{S.S.T.}} =$	5			
$\eta_{\text{S.S.T.E}} =$	6			
$Q =$	1			
$t =$	2			
$H =$	3			
$\eta_{\text{U.T.}} =$	4			
$\eta_{\text{S.S.T.}} =$	5			
$\eta_{\text{S.S.T.E}} =$	6			
$Q =$	1			
$t =$	2			
$H =$	3			
$\eta_{\text{U.T.}} =$	4			
$\eta_{\text{S.S.T.}} =$	5			
$\eta_{\text{S.S.T.E}} =$	6			

Corrida: 2

$\bar{v}$  filtración:  $5 \frac{m}{h}$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Duración: 8.416h

$Q_i$ :  $0.35 \frac{l}{s}$

Dosis:  $15 \frac{mg}{l}$

Fecha: 20 OCT 87

hoja: 1

S.S.T. int = 18

%  $\bar{v}_{SS12}$  = 58.8

%  $\bar{v}_{SSFE}$  = 74.06

%  $\bar{v}_{UT}$  = 77.8

DATOS DE CONTROL	$Q$ MA	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S. S. T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	1.68	0	-
$t = 0.583h$	2	0.95	4	-
$H = 12:05$	3	0.52	8	7
$\eta_{UT} = 0.655$	4	0.61	11.5	-
$\eta_{SS12} = 0.611$	5	0.59	14.5	-
$\eta_{SSFE} = 0.611$	6	0.58	16.5	7
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	1.68	0	-
$t = 1.75h$	2	0.72	10	-
$H = 13:15$	3	0.53	15.2	7
$\eta_{UT} = 0.756$	4	0.57	18	-
$\eta_{SS12} = 0.611$	5	0.44	21	-
$\eta_{SSFE} = 0.722$	6	0.41	24	5
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	1.97	0	-
$t = 3.25h$	2	1.16	21	-
$H = 14:45$	3	0.50	27	5
$\eta_{UT} = 0.777$	4	0.50	29.5	-
$\eta_{SS12} = 0.722$	5	0.50	33.5	-
$\eta_{SSFE} = 0.833$	6	0.44	36	3

DATOS DE CONTROL	$Q$ MA	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S. S. T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	2.07	0	-
$t = 3.583h$	2	1.06	23.5	-
$H = 15:05$	3	0.48	29.5	8
$\eta_{UT} = 0.783$	4	0.50	33.5	-
$\eta_{SS12} = 0.555$	5	0.46	36.5	-
$\eta_{SSFE} = 0.833$	6	0.45	39	3
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	1.94	0	-
$t = 4.083h$	2	1.15	27.5	-
$H = 15:35$	3	0.50	34.5	10
$\eta_{UT} = 0.789$	4	0.61	37	-
$\eta_{SS12} = 0.444$	5	0.50	38.5	-
$\eta_{SSFE} = 0.667$	6	0.41	44	6
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	3.05	0	-
$t = 4.66h$	2	2.02	32	-
$H = 16:10$	3	0.76	46	7
$\eta_{UT} = 0.813$	4	0.72	44	-
$\eta_{SS12} = 0.611$	5	0.63	47	-
$\eta_{SSFE} = 0.833$	6	0.57	49	5

DATOS DE CONTROL	$Q$ MA	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S. S. T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	3.41	0	-
$t = 5.016h$	2	2.29	35.5	-
$H = 16:35$	3	0.96	44.5	10
$\eta_{UT} = 0.783$	4	0.43	48	-
$\eta_{SS12} = 0.444$	5	0.84	51	-
$\eta_{SSFE} = 0.500$	6	0.74	53.5	9
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	3.40	0	-
$t = 6.50h$	2	3.20	42	-
$H = 18:00$	3	1.33	51.5	12
$\eta_{UT} = 0.779$	4	1.22	54.5	-
$\eta_{SS12} = 0.333$	5	1.21	57.5	-
$\eta_{SSFE} = 0.667$	6	1.19	59.0	6
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	3.60	0	-
$t = 6.916h$	2	2.19	46.1	-
$H = 18:25$	3	0.93	56.5	9
$\eta_{UT} = 0.742$	4	0.90	60.0	-
$\eta_{SS12} = 0.500$	5	0.93	62.5	-
$\eta_{SSFE} = 0.889$	6	0.86	65.0	2

Corrida: 2

Duración: 8.16

$\bar{v}$  filtración:  $5 \frac{m}{h}$

$Q_i$ :  $0.35 \frac{l}{s}$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Dosis:  $15 \frac{mg}{l}$

Fecha: 20 OCT 87

hoja: 2

DATOS DE CONTROL	$Q$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	2.75	0	-
$t = 7.166h$	2	2.18	50	-
$H = 18:40$	3	0.82	59.5	6
$\eta_{ur} = 0.716$	4	0.76	64.5	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.667$	5	0.75	67	-
$\eta_{s.s.T.E} = 0.833$	6	0.78	69	3
$Q = 0.33 \frac{l}{s}$	1	2.40	0	-
$t = 7.5h$	2	1.80	53.5	-
$H = 19:00$	3	0.68	65	10
$\eta_{ur} = 0.764$	4	0.76	69	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.444$	5	0.63	71.5	-
$\eta_{s.s.T.E} = 0.778$	6	0.60	74	4
$Q = 0.32 \frac{l}{s}$	1	3.05	0	-
$t = 7.75h$	2	1.40	58	-
$H = 19:15$	3	0.61	69.5	3
$\eta_{ur} = 0.833$	4	0.62	74	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.833$	5	0.58	77	-
$\eta_{s.s.T.E} = 0.889$	6	0.51	79	2

DATOS DE CONTROL	$Q$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.32 \frac{l}{s}$	1	2.65	0	-
$t = 8.0h$	2	1.93	63	-
$H = 19:30$	3	0.56	77	9
$\eta_{ur} = 0.823$	4	0.50	80.5	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.500$	5	0.52	83	-
$\eta_{s.s.T.E} = 0.611$	6	0.47	85	7
$Q = 0.31 \frac{l}{s}$	1	2.75	0	-
$t = 8.166h$	2	1.90	65.5	-
$H = 19:40$	3	0.56	81	12
$\eta_{ur} = 0.815$	4	0.57	84.5	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.333$	5	0.52	86	-
$\eta_{s.s.T.E} = 0.555$	6	0.51	88	8
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	2.75	0	-
$t = 8.416h$	2	1.90	69	-
$H = 19:55$	3	0.55	86	7
$\eta_{ur} = 0.836$	4	0.54	89	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.611$	5	0.52	92	-
$\eta_{s.s.T.E} = 0.889$	6	0.45	94	2

DATOS DE CONTROL	$Q$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{s.s.T.} =$				
$\eta_{s.s.T.E} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{s.s.T.} =$				
$\eta_{s.s.T.E} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{s.s.T.} =$				
$\eta_{s.s.T.E} =$				

Corrida: 3

$\bar{v}$  filtración:  $5 \frac{m}{h}$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Fecha: 23 oct 87

Duración: 2.66h

$Q_i$ :  $0.35 \frac{l}{s}$

Dosis:  $90 \frac{mg}{l}$

hoja: 1

S.S.T. inf = 12

$\% \eta_{sSTi} = 48.6$

$\% \eta_{sSTe} = 83.3$

$\% \eta_{vr} = 87.3$

DATOS DE CONTROL	$Q$ [l/s]	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	5.68	0	-
$t = 0$	2	0.84	5.5	-
$H = 10:40$	3	0.28	9.5	7
$\eta_{vr} = 0.702$	4	0.33	12.5	-
$\eta_{sSTi} = 0.416$	5	0.35	14.5	-
$\eta_{sSTe} = 0.750$	6	0.31	16.5	3
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	3.66	0	-
$t = 0.166h$	2	0.58	9.5	-
$H = 10:50$	3	0.17	13.5	7
$\eta_{vr} = 0.807$	4	0.19	17	-
$\eta_{sSTi} = 0.416$	5	0.15	18.5	-
$\eta_{sSTe} = 0.833$	6	0.20	20.5	2
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	12	0	-
$t = 0.666h$	2	1.25	20	-
$H = 11:20$	3	0.17	25	7
$\eta_{vr} = 0.865$	4	0.17	29	-
$\eta_{sSTi} = 0.416$	5	0.16	31	-
$\eta_{sSTe} = 0.750$	6	0.14	33	3

DATOS DE CONTROL	$Q$ [l/s]	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	13.1	0	-
$t = 0.833h$	2	2.42	22.5	-
$H = 11:30$	3	0.19	29	9
$\eta_{vr} = 0.894$	4	0.14	33	-
$\eta_{sSTi} = 0.250$	5	0.13	35.5	-
$\eta_{sSTe} = 0.333$	6	0.11	37.5	8
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	13.5	0	-
$t = 1.0h$	2	3.22	27	-
$H = 11:40$	3	0.16	36	7
$\eta_{vr} = 0.903$	4	0.17	38.5	-
$\eta_{sSTi} = 0.416$	5	0.15	40.5	-
$\eta_{sSTe} = 0.750$	6	0.10	42.5	3
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	15.6	0	-
$t = 1.166h$	2	4.1	30	-
$H = 11:50$	3	0.19	42	1
$\eta_{vr} = 0.913$	4	0.16	45	-
$\eta_{sSTi} = 0.916$	5	0.15	47.5	-
$\eta_{sSTe} = 1.0$	6	0.09	48.5	0

DATOS DE CONTROL	$Q$ [l/s]	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	11.4	0	-
$t = 1.416h$	2	6.30	35	-
$H = 12:05$	3	0.16	44	4
$\eta_{vr} = 0.894$	4	0.14	53	-
$\eta_{sSTi} = 0.667$	5	0.13	56	-
$\eta_{sSTe} = 0.916$	6	0.11	59	1
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	35.1	0	-
$t = 1.633h$	2	5.9	36	-
$H = 12:18$	3	0.30	57	8
$\eta_{vr} = 0.865$	4	0.18	60	-
$\eta_{sSTi} = 0.333$	5	0.16	62	-
$\eta_{sSTe} = 0.750$	6	0.14	64	3
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	18.1	0	-
$t = 1.716h$	2	4.8	39	-
$H = 12:27$	3	0.27	61	0
$\eta_{vr} = 0.884$	4	0.14	64	-
$\eta_{sSTi} = 1.0$	5	0.13	66	-
$\eta_{sSTe} = 1.0$	6	0.12	68	0

Corrida: 3

Duración: 2.66h

 $\bar{V}$  filtración:  $5 \frac{m}{h}$  $Q_d$ :  $0.35 \frac{l}{s}$ 

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Dosis:  $90 \frac{mg}{l}$ 

Fecha: 23 Oct 87

hoja: 2

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.33 \frac{l}{s}$	1	34.6	0	-
$t = 1.883$	2	4.57	40	-
$H = 12:37$	3	0.58	66.5	4
$\eta_{ur} = 0.894$	4	0.16	70	-
$\eta_{sur} = 0.667$	5	0.15	72	-
$\eta_{sur} = 0.916$	6	0.11	74	1
$Q = 0.31 \frac{l}{s}$	1	52.3	0	-
$t = 2.083h$	2	4.5	41	-
$H = 12:45$	3	0.58	71	7
$\eta_{ur} = 0.894$	4	0.15	75	-
$\eta_{sur} = 0.416$	5	0.14	77	-
$\eta_{sur} = 1.0$	6	0.11	79	0
$Q = 0.31 \frac{l}{s}$	1	48.8	0	-
$t = 2.283h$	2	4.01	43	-
$H = 12:57$	3	0.80	77	8
$\eta_{ur} = 0.896$	4	0.14	81	-
$\eta_{sur} = 0.333$	5	0.12	83	-
$\eta_{sur} = 1.0$	6	0.11	85	0

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	54.3	0	-
$t = 2.5h$	2	4.0	43	-
$H = 13:10$	3	0.85	81	12
$\eta_{ur} = 0.404$	4	0.4	85	-
$\eta_{sur} =$	5	0.17	87	-
$\eta_{sur} = 1.0$	6	0.10	89	0
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	15.7	0	-
$t = 2.66h$	2	5.70	46	-
$H = 13:20$	3	1.28	85.5	11
$\eta_{ur} = 0.91$	4	0.23	90.5	-
$\eta_{sur} = 0.083$	5	0.15	92	-
$\eta_{sur} = 0.833$	6	0.09	94	2
$Q =$	1			
$t =$	2			
$H =$	3			
$\eta_{ur} =$	4			
$\eta_{sur} =$	5			
$\eta_{sur} =$	6			

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$\eta_{sur} =$				

Corriente: 4

Velocidad filtración:  $5 \frac{m}{h}$

Cóagulante: Sulfato de Aluminio

Fecha: 26 OCT 87

Duración: 2.166h

$Q_i = 0.35 \frac{l}{s}$

Dosis:  $90 \frac{mg}{l}$

hoja: 1

$\eta_{ur} = 72.9$

$\eta_{suf} = 72.9$

$\eta_{suf} = 89.3$

$\eta_{ur} = 86.3$

DATOS DE CONTROL	$Q$ $\frac{l}{s}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	521	0	-
$t = 0$	2	106	10	-
$H = 12:50$	3	0.41	13	13
$\eta_{ur} = 0.745$	4	0.37	18.5	-
$\eta_{suf} = 0.606$	5	0.32	19	-
$\eta_{suf} = 0.606$	6	0.34	24	13
$Q = 0.65 \frac{l}{s}$	1	234	0	-
$t = 0.166h$	2	109	17	-
$H = 13:00$	3	0.34	22	12
$\eta_{ur} = 0.8627$	4	0.29	25.5	-
$\eta_{suf} = 0.636$	5	0.22	28	-
$\eta_{suf} = 0.727$	6	0.21	31	4
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	267	0	-
$t = 0.333h$	2	223	22	-
$H = 13:10$	3	0.34	28	4
$\eta_{ur} = 0.8627$	4	0.21	31	-
$\eta_{suf} = 0.878$	5	0.21	34	-
$\eta_{suf} = 1.0$	6	0.24	36	0

DATOS DE CONTROL	$Q$ $\frac{l}{s}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	9.97	0	-
$t = 0.4166h$	2	3.43	26	-
$H = 13:15$	3	0.29	32	6
$\eta_{ur} = 0.867$	4	0.28	35.5	-
$\eta_{suf} = 0.81$	5	0.26	39	-
$\eta_{suf} = 0.9696$	6	0.20	41	1
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	9.17	0	-
$t = 0.5h$	2	4.54	28	-
$H = 13:20$	3	0.34	38	9
$\eta_{ur} = 0.830$	4	0.35	41	-
$\eta_{suf} = 0.727$	5	0.26	44	-
$\eta_{suf} = 0.9696$	6	0.24	46	1
$Q = 0.33 \frac{l}{s}$	1	11.5	0	-
$t = 0.666h$	2	4.08	32	-
$H = 13:30$	3	0.31	44	3
$\eta_{ur} = 0.858$	4	0.14	47	-
$\eta_{suf} = 0.9070$	5	0.18	50	-
$\eta_{suf} = 0.9696$	6	0.17	52	1

DATOS DE CONTROL	$Q$ $\frac{l}{s}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.33 \frac{l}{s}$	1	12.9	0	-
$t = 0.833h$	2	4.41	34	-
$H = 13:40$	3	0.43	49	6
$\eta_{ur} = 0.8346$	4	0.34	52	-
$\eta_{suf} = 0.810$	5	0.29	54.5	-
$\eta_{suf} = 0.9696$	6	0.25	56.5	1
$Q = 0.32 \frac{l}{s}$	1	18.6	0	-
$t = 0.966h$	2	6.07	35	-
$H = 13:48$	3	0.29	63	6
$\eta_{ur} = 0.956$	4	0.24	56.5	-
$\eta_{suf} = 0.810$	5	0.22	58.5	-
$\eta_{suf} = 0.8484$	6	0.19	60.5	5
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	24.8	0	-
$t = 1.25$	2	8.2	40	-
$H = 14:05$	3	0.32	63.5	1
$\eta_{ur} = 0.845$	4	0.20	66.5	-
$\eta_{suf} = 0.9696$	5	0.18	69	-
$\eta_{suf} = 1.0$	6	0.16	71	0

Corriada: 0

v filtración: 5  $\frac{m}{h}$ 

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Fecha: 26 OCT 87

Duración: 2.166h

 $Q_i: 0.35 \frac{l}{s}$ Dosis:  $90 \frac{mg}{l}$ 

hoja: 2

DATOS DE CONTROL	$t_0$ M <sub>A</sub>	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	292	0	-
$t = 1.166h$	2	490	41	-
$H = 14:15$	3	0.58	68.5	12
$\eta_{ur} = 0.8758$	4	0.28	72	-
$\eta_{srt_1} = 0.636$	5	0.15	75.5	-
$\eta_{srt_2} = 0.878$	6	0.19	77.5	4
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	187	0	-
$t = 1.666h$	2	540	43.5	-
$H = 14:50$	3	1.05	77.5	12
$\eta_{ur} = 0.895$	4	0.19	81	-
$\eta_{srt_1} = 0.636$	5	0.18	84	-
$\eta_{srt_2} = 0.848$	6	0.16	86	5
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	175	0	-
$t = 1.833h$	2	552	43.5	-
$H = 14:40$	3	1.10	82.5	10
$\eta_{ur} = 0.8954$	4	0.22	86.5	-
$\eta_{srt_1} = 0.6469$	5	0.14	89	-
$\eta_{srt_2} = 0.810$	6	0.16	91	6

DATOS DE CONTROL	$t_0$ M <sub>A</sub>	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	183	0	-
$t = 2.0h$	2	9	45	-
$H = 14:50$	3	1.42	88.5	9
$\eta_{ur} = 0.845$	4	0.18	93.5	-
$\eta_{srt_1} = 0.727$	5	0.16	95.5	-
$\eta_{srt_2} = 0.9696$	6	0.15	97	1
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	225	0	-
$t = 2.166h$	2	52	46	-
$H = 15:00$	3	1.8	91	21
$\eta_{ur} = 0.888$	4	0.19	96.5	-
$\eta_{srt_1} = 0.3636$	5	0.17	99	-
$\eta_{srt_2} = 1.0$	6	0.15	100.5	0
$Q =$	1			
$t =$	2			
$H =$	3			
$\eta_{ur} =$	4			
$\eta_{srt_1} =$	5			
$\eta_{srt_2} =$	6			

DATOS DE CONTROL	$t_0$ M <sub>A</sub>	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{srt_1} =$				
$\eta_{srt_2} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{srt_1} =$				
$\eta_{srt_2} =$				

Corrida: 5

U.F. filtración: 5  $\frac{m^3}{h}$

Coagulante: DUTALUM de Aluminio

Fecha: 27 OCT 87

Duración: 228 h

$Q_i = 0.35 \frac{m^3}{s}$

Dosis:  $83.3 \frac{mg}{l}$

hoja 1

SST inf = 15

$\% \eta_{SST} = 64.4$

$\% \eta_{U.F.} = 70.6$

$\% \eta_{U.F.} = 75.6\%$

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{m^3}{s}$	1	19.6	0	-
$t = 0$	2	1.99	5.5	-
$H = 13:30$	3	1.45	9.5	13
$\eta_{U.F.} = 0.363$	4	1.39	13	-
$\eta_{SST} = 0.1333$	5	1.27	16	-
$\eta_{SST} = 0.20$	6	1.21	18	12
$Q = 0.35 \frac{m^3}{s}$	1	31.3	0	-
$t = 0.16 h$	2	1.50	10.5	-
$H = 13:40$	3	0.40	14	13
$\eta_{U.F.} = 0.579$	4	0.38	18	-
$\eta_{SST} = 0.133$	5	0.32	21	-
$\eta_{SST} = 0.333$	6	0.30	23	8
$Q = 0.35 \frac{m^3}{s}$	1	39.7	0	-
$t = 0.33 h$	2	2.04	14	-
$H = 13:50$	3	0.26	19	4
$\eta_{U.F.} = 0.828$	4	0.20	22.5	-
$\eta_{SST} = 0.733$	5	0.17	25.5	-
$\eta_{SST} = 0.933$	6	0.16	28	1

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{m^3}{s}$	1	55.8	0	-
$t = 0.45 h$	2	3.51	17	-
$H = 13:57$	3	0.46	24	3
$\eta_{U.F.} = 0.892$	4	0.20	27.5	-
$\eta_{SST} = 0.800$	5	0.18	30.5	-
$\eta_{SST} = 0.866$	6	0.17	33	2
$Q = 0.35 \frac{m^3}{s}$	1	55.9	0	-
$t = 0.583 h$	2	64.0	19.5	-
$H = 14:05$	3	0.23	29	3
$\eta_{U.F.} = 0.928$	4	0.20	32.5	-
$\eta_{SST} = 0.800$	5	0.19	35.5	-
$\eta_{SST} = 0.866$	6	0.13	38	2
$Q = 0.35 \frac{m^3}{s}$	1	24.1	0	-
$t = 0.833 h$	2	5.81	26	-
$H = 14:20$	3	0.28	39.5	3
$\eta_{U.F.} = 0.922$	4	0.25	43	-
$\eta_{SST} = 0.800$	5	0.15	46	-
$\eta_{SST} = 1.0$	6	0.13	48	0

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{m^3}{s}$	1	23.4	0	-
$t = 1:00$	2	7.8	27	-
$H = 14:30$	3	0.75	44.5	6
$\eta_{U.F.} = 0.745$	4	0.60	48	-
$\eta_{SST} = 0.60$	5	0.50	51	-
$\eta_{SST} = 0.733$	6	0.38	53	4
$Q = 0.35 \frac{m^3}{s}$	1	20.5	0	-
$t = 1.166 h$	2	5.43	28	-
$H = 14:40$	3	0.81	49	10
$\eta_{U.F.} = 0.664$	4	0.65	53	-
$\eta_{SST} = 0.666$	5	0.62	56	-
$\eta_{SST} = 0.80$	6	0.50	58	3
$Q = 0.35 \frac{m^3}{s}$	1	16.4	0	-
$t = 1.366 h$	2	6.4	29	-
$H = 14:52$	3	1.03	55	10
$\eta_{U.F.} = 0.606$	4	1.11	58.5	-
$\eta_{SST} = 0.666$	5	0.82	61.5	-
$\eta_{SST} = 0.733$	6	0.67	63.5	4

Control: 3

U. Filtración:  $\frac{m^3}{h}$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Fecha: 27 oct 87

Duración: 2.28h

$Q_i: 0.35 \frac{l}{s}$

Dosis:  $83.3 \frac{mg}{l}$

hoja: 2

DATOS DE CONTROL	$T_{O_M}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.33 \frac{l}{s}$	1	30.5	0	-
$t = 1.5h$	2	5.4	32.5	-
H: 15:00	3	0.62	59.5	5
$\eta_{UT} = 0.788$	4	0.36	63.5	-
$\eta_{SST_2} = 0.666$	5	0.30	66.5	-
$\eta_{SST_6} = 0.80$	6	0.29	69	3
$Q = 0.32 \frac{l}{s}$	1	23.1	0	-
$t = 1.66h$	2	5.69	34	-
H: 15:10	3	1.39	64.5	10
$\eta_{UT} = 0.750$	4	0.50	69	-
$\eta_{SST_2} = 0.666$	5	0.40	72	-
$\eta_{SST_6} = 0.80$	6	0.36	74	3
$Q = 0.31 \frac{l}{s}$	1	24.2	0	-
$t = 1.7h$	2	7.3	35	-
H: 15:19	3	2.05	69	11
$\eta_{UT} = 0.8$	4	0.43	74	-
$\eta_{SST_2} = 0.266$	5	0.35	77	-
$\eta_{SST_6} = 0.866$	6	0.32	79	2

DATOS DE CONTROL	$T_{O_M}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.31 \frac{l}{s}$	1	2.3	0	-
$t = 1.916h$	2	7.0	36.5	-
H: 15:25	3	2.40	73	20
$\eta_{UT} = 0.830$	4	0.98	78	-
$\eta_{SST_2} =$	5	0.43	81	-
$\eta_{SST_6} = 0.266$	6	0.28	83	11
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	20.3	0	-
$t = 2.083h$	2	6.48	38	-
H: 15:35	3	2.90	77.5	3
$\eta_{UT} = 0.855$	4	0.55	83	-
$\eta_{SST_2} = 0.80$	5	0.28	86	-
$\eta_{SST_6} = 0.866$	6	0.24	88	2
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	3.2	0	-
$t = 2.28h$	2	7.1	39	-
H: 15:47	3	2.67	74	20
$\eta_{UT} = 0.796$	4	0.40	89	-
$\eta_{SST_2} =$	5	0.37	92	-
$\eta_{SST_6} = 0.533$	6	0.37	94	7

DATOS DE CONTROL	$T_{O_M}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
Q:				
t:				
H:				
$\eta_{UT}$ :				
$\eta_{SST_2}$ :				
$\eta_{SST_6}$ :				
Q:				
t:				
H:				
$\eta_{UT}$ :				
$\eta_{SST_2}$ :				
$\eta_{SST_6}$ :				
Q:				
t:				
H:				
$\eta_{UT}$ :				
$\eta_{SST_2}$ :				
$\eta_{SST_6}$ :				

Corrida: 6

 $\bar{v}$  filtración:  $5 \frac{m}{h}$ 

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Fecha: 28 OCT 07

Duración:

 $Q_i: 0.35 \frac{l}{s}$ Dosis:  $82 \text{ mg/l}$ 

hoja: 1

 $\bar{v}_{\text{filtr}} = 20$  $\% \bar{\eta}_{\text{ssT}_2} = 61.75$  $\% \bar{\eta}_{\text{ssT}_6} = 77.3$  $\% \bar{\eta}_{\text{UT}} = 62.6$ 

DATOS DE CONTROL	$O_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	9.10	0	-
$t = 0$	2	1.60	4.5	-
$H = 13:15$	3	1.37	8.5	15
$\bar{\eta}_{\text{UT}} = 0.437$	4	1.32	12	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_2} = 0.750$	5	1.31	15	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_6} =$	6	1.12	17	-
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	37.1	0	-
$t = 0.333 \text{ h}$	2	1.95	11	-
$H = 13:35$	3	1.10	16.5	9
$\bar{\eta}_{\text{UT}} = 0.482$	4	1.03	19	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_2} = 0.55$	5	0.95	22	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_6} = 0.60$	6	0.89	24	8
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	46.4	0	-
$t = 0.5 \text{ h}$	2	2.25	14	-
$H = 13:45$	3	0.89	20	8
$\bar{\eta}_{\text{UT}} = 0.612$	4	0.85	24.5	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_2} = 0.60$	5	0.75	27.5	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_6} = 0.65$	6	0.71	30	7

DATOS DE CONTROL	$O_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	30.5	0	-
$t = 0.633 \text{ h}$	2	3.45	17	-
$H = 13:53$	3	0.85	25	6
$\bar{\eta}_{\text{UT}} = 0.617$	4	0.78	29	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_2} = 0.70$	5	0.75	32.5	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_6} = 0.70$	6	0.70	35	6
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	38.6	0	-
$t = 0.80 \text{ h}$	2	5.81	20	-
$H = 14:03$	3	0.81	30	5
$\bar{\eta}_{\text{UT}} = 0.635$	4	0.78	34.5	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_2} = 0.75$	5	0.75	37.5	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_6} = 0.80$	6	0.61	40	4
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	28.1	0	-
$t = 1.1 \text{ h}$	2	5.50	24.5	-
$H = 14:26$	3	0.93	39.5	3
$\bar{\eta}_{\text{UT}} = 0.611$	4	0.83	44	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_2} = 0.85$	5	0.76	47.5	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_6} = 0.90$	6	0.65	49	2

DATOS DE CONTROL	$O_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	13.2	0	-
$t = 1.283 \text{ h}$	2	5.20	27	-
$H = 14:32$	3	0.90	44.5	6
$\bar{\eta}_{\text{UT}} = 0.539$	4	0.85	49.5	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_2} = 0.70$	5	0.76	52.5	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_6} = 0.80$	6	0.76	55	4
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	15.4	0	-
$t = 1.5 \text{ h}$	2	5.40	28	-
$H = 14:45$	3	0.87	49	8
$\bar{\eta}_{\text{UT}} = 0.624$	4	0.68	54	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_2} = 0.60$	5	0.62	57	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_6} = 0.75$	6	0.62	59.5	5
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	29.4	0	-
$t = 1.66 \text{ h}$	2	6.20	32.8	-
$H = 14:55$	3	0.95	55.5	9
$\bar{\eta}_{\text{UT}} = 0.654$	4	0.71	60.5	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_2} = 0.55$	5	0.66	64	-
$\bar{\eta}_{\text{ssT}_6} = 0.85$	6	0.55	67	3

Córrida: 6

$\bar{n}$  filtración: 5  $\frac{m}{h}$

Coágulante: Sulfato de Aluminio

Fecha: 28 OCT 87

Duración: 2.58 h

$Q_i$ : 0.35  $\frac{l}{s}$

Dosis: 80  $mg/l$

hoja: 2

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	33.1	0	-
$t = 1.016 h$	2	5.30	33	-
$H = 15:04$	3	1.03	59	9
$\eta_{ur} = 0.635$	4	0.70	64.5	-
$\eta_{s.s.r.1} = 0.55$	5	0.68	68.5	-
$\eta_{s.s.r.2} = 0.75$	6	0.62	71	5
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	25.5	0	-
$t = 2.0 h$	2	5.20	33	-
$H = 15:15$	3	1.30	63.5	8
$\eta_{ur} = 0.733$	4	0.66	68	-
$\eta_{s.s.r.1} = 0.60$	5	0.58	72.5	-
$\eta_{s.s.r.2} = 0.70$	6	0.55	75	6
$Q = 0.33 \frac{l}{s}$	1	26.4	0	-
$t = 2.166 h$	2	6.85	34	-
$H = 15:25$	3	1.47	69	16
$\eta_{ur} = 0.743$	4	0.66	75	-
$\eta_{s.s.r.1} = 0.20$	5	0.58	79	-
$\eta_{s.s.r.2} = 0.80$	6	0.53	81	4

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.32 \frac{l}{s}$	1	30.6	0	-
$t = 2.203 h$	2	7.13	35.5	-
$H = 15:32$	3	2.16	72	
$\eta_{ur} = 0.666$	4	0.68	79	-
$\eta_{s.s.r.1}$	5	0.53	82.5	-
$\eta_{s.s.r.2} = 0.90$	6	0.53	84	2
$Q = 0.31 \frac{l}{s}$	1	25.6	0	-
$t = 2.416 h$	2	6.40	37	-
$H = 15:40$	3	2.31	77	
$\eta_{ur} = 0.686$	4	0.57	84	-
$\eta_{s.s.r.1}$	5	0.54	87.5	-
$\eta_{s.s.r.2}$	6	0.49	90	
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	30.0	0	-
$t = 0.2583 h$	2	7.9	39	-
$H = 15:50$	3	2.71	80.5	20
$\eta_{ur} = 0.725$	4	0.64	89	-
$\eta_{s.s.r.1} = 0$	5	0.60	92.5	-
$\eta_{s.s.r.2} = 0.85$	6	0.44	94	3

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{s.s.r.1} =$				
$\eta_{s.s.r.2} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{s.s.r.1} =$				
$\eta_{s.s.r.2} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{s.s.r.1} =$				
$\eta_{s.s.r.2} =$				

Corrida: 7

$\bar{V}$  filtración:  $5 \frac{m}{h}$

Cogulante: Sulfato de Aluminio

Fecha: 29 Oct 87

Duración: 3.416 h

$Q_1$ :  $0.35 \frac{l}{s}$

Dosis: 98 mg/l

hoja: 1

S.S.T. inf. = 24

$\times \bar{\eta}_{\text{arr.}} = 49.9$

$\times \bar{\eta}_{\text{ssr.}} = 76.1$

$\times \bar{\eta}_{\text{ur}} = 88.8$

DATOS DE CONTROL	$Q$ [l/s]	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	6.6	0	-
$t = 0$	2	2.0	5.5	-
$H = 14:15$	3	0.99	9.5	8
$\eta_{\text{ur}} = 0.653$	4	0.43	12.5	-
$\eta_{\text{ssr.}} = 0.428$	5	0.60	14	-
$\eta_{\text{arr.}} = 0.50$	6	0.67	16.5	7
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	8.10	0	-
$t = 0.166 h$	2	2.65	10.5	-
$H = 14:25$	3	0.23	15.5	4
$\eta_{\text{ur}} = 0.881$	4	0.23	18.5	-
$\eta_{\text{ssr.}} = 0.714$	5	0.14	19.5	-
$\eta_{\text{arr.}} = 0.785$	6	0.12	23.5	3
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	45.2	0	-
$t = 0.916 h$	2	6.38	18	-
$H = 15:10$	3	0.23	25.5	5
$\eta_{\text{ur}} = 0.918$	4	0.16	28.5	-
$\eta_{\text{ssr.}} = 0.642$	5	0.13	30.5	-
$\eta_{\text{arr.}} = 0.857$	6	0.13	32.5	2

DATOS DE CONTROL	$Q$ [l/s]	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	8.01	0	-
$t = 1.166 h$	2	7.3	20	-
$H = 15:25$	3	0.30	31	4
$\eta_{\text{ur}} = 0.923$	4	0.26	34	-
$\eta_{\text{ssr.}} = 0.74$	5	0.15	36	-
$\eta_{\text{arr.}} = 1.0$	6	0.15	38	0
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	36.2	0	-
$t = 1.33 h$	2	11.3	22	-
$H = 15:35$	3	0.29	36	9
$\eta_{\text{ur}} = 0.898$	4	0.21	39	-
$\eta_{\text{ssr.}} = 0.357$	5	0.18	41	-
$\eta_{\text{arr.}} = 0.857$	6	0.17	43	2
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	86.0	0	-
$t = 1.5 h$	2	8.2	23.5	-
$H = 15:45$	3	0.33	41	7
$\eta_{\text{ur}} = 0.861$	4	0.23	44	-
$\eta_{\text{ssr.}} = 0.50$	5	0.23	46.5	-
$\eta_{\text{arr.}} = 0.785$	6	0.13	47	3

DATOS DE CONTROL	$Q$ [l/s]	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	36.5	0	-
$t = 1.7 h$	2	6.2	24.5	-
$H = 15:57$	3	0.43	46	5
$\eta_{\text{ur}} = 0.935$	4	0.16	49	-
$\eta_{\text{ssr.}} = 0.642$	5	0.14	51	-
$\eta_{\text{arr.}} = 0.714$	6	0.11	53	4
$Q = 0.33 \frac{l}{s}$	1	40.2	0	-
$t = 1.9 h$	2	6.5	26	-
$H = 16:09$	3	1.06	49.5	10
$\eta_{\text{ur}} = 0.940$	4	0.18	54	-
$\eta_{\text{ssr.}} = 0.285$	5	0.10	56	-
$\eta_{\text{arr.}} = 0.785$	6	0.10	58	3
$Q = 0.32 \frac{l}{s}$	1	40	0	-
$t = 2.10 h$	2	8.3	27	-
$H = 16:21$	3	1.14	55.5	15
$\eta_{\text{ur}} = 0.901$	4	0.26	59	-
$\eta_{\text{ssr.}} = ?$	5	0.24	61	-
$\eta_{\text{arr.}} = 1.0$	6	0.14	63	0

Corrida: 8

$\bar{V}$  filtración:  $5 \frac{m}{h}$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Fecha: 30 OCT 87

Duración: 4.0 h

$Q_i$ :  $0.35 \frac{l}{s}$

Dosis:  $964 \frac{mg}{l}$

noja: 1

s.s.t. inf = 14

$\% \bar{\eta}_{ssta} = 41.6$

$\% \bar{\eta}_{sste} = 82.8$

$\% \bar{\eta}_{ut} = 0.917$

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	687	0	-
$t = 0$	2	220	4	-
$H = 12:50 AM$	3	0.39	8	5
$\eta_{ut} = 0.750$	4	0.27	11	-
$\eta_{ssta} = 0.642$	5	0.22	14	-
$\eta_{sste} = 0.928$	6	0.21	16	1
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	78	0	-
$t = 0.25 h$	2	539	7	-
$H = 1:05$	3	0.29	15	7
$\eta_{ut} = 0.917$	4	0.21	18.5	-
$\eta_{ssta} = 0.50$	5	0.13	20	-
$\eta_{sste} = 0.642$	6	0.12	22	5
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	389	0	-
$t = 0.75 h$	2	731	10.5	-
$H = 1:35$	3	0.31	25.5	7
$\eta_{ut} = 0.915$	4	0.12	28.5	-
$\eta_{ssta} = 0.50$	5	0.10	31	-
$\eta_{sste} = 0.928$	6	0.10	33	1

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	45	0	-
$t = 0.916 h$	2	257	9.5	-
$H = 1:45$	3	1.05	31	7
$\eta_{ut} = 0.915$	4	0.17	34	-
$\eta_{ssta} = 0.50$	5	0.16	37	-
$\eta_{sste} = 0.928$	6	0.12	39	1
$Q = 0.35 \frac{l}{s}$	1	512	0	-
$t = 1.083 h$	2	790	9	-
$H = 1:55$	3	1.90	34.5	13
$\eta_{ut} = 0.925$	4	0.13	37.5	-
$\eta_{ssta} = 0.071$	5	0.12	39	-
$\eta_{sste} = 1.0$	6	0.10	41	0
$Q = 0.34 \frac{l}{s}$	1	45	0	-
$t = 1.383 h$	2	9.01	9.5	-
$H = 2:13$	3	4.20	39.5	20
$\eta_{ut} = 0.954$	4	0.16	43	-
$\eta_{ssta}$	5	0.16	45.5	-
$\eta_{sste} = 0.642$	6	0.08	47.5	5

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.33 \frac{l}{s}$	1	50	0	-
$t = 1.583 h$	2	630	12	-
$H = 2:25$	3	5.01	44	36
$\eta_{ut} = 0.953$	4	0.15	48.5	-
$\eta_{ssta}$	5	0.13	50	-
$\eta_{sste} = 0.928$	6	0.10	52	1
$Q = 0.33 \frac{l}{s}$	1	45	0	-
$t = 1.916 h$	2	631	12	-
$H = 2:45$	3	4.61	49.5	28
$\eta_{ut} = 0.962$	4	0.14	54.5	-
$\eta_{ssta}$	5	0.09	56	-
$\eta_{sste} = 0.928$	6	0.08	58	1
$Q = 0.32 \frac{l}{s}$	1	45	0	-
$t = 2.083 h$	2	653	12	-
$H = 2:55$	3	3.69	52	10
$\eta_{ut} = 0.938$	4	0.11	58	-
$\eta_{ssta} = 0.285$	5	0.12	60.5	-
$\eta_{sste} = 0.928$	6	0.09	62	1

Corrida: 7

 $\bar{v}$  filtración:  $5 \frac{m}{h}$ 

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Fecha: 29 OCT 87

Duración: 3.416 h

 $Q_i$ :  $0.35 \frac{l}{s}$ 

Dosis: 98 mg/l

hoja: 2

DATOS DE CONTROL	$Q$ [m <sup>3</sup> /h]	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.32 \frac{l}{s}$	1	40	0	-
$t = 2.30 h$	2	6.54	28	-
$H = 16:33$	3	2.43	54.5	11
$\eta_{UT} = 0.879$	4	0.30	63.5	-
$\eta_{SST_1} = 0.214$	5	0.17	66	-
$\eta_{SST_2} = 1.0$	6	0.12	68	0
$Q = 0.31 \frac{l}{s}$	1	40	0	-
$t = 2.5 h$	2	6.41	28	-
$H = 16:45$	3	3.09	63.5	20
$\eta_{UT} = 0.926$	4	0.11	69	-
$\eta_{SST_1} =$	5	0.11	71	-
$\eta_{SST_2} = 0.571$	6	0.10	73	6
$Q = 0.31 \frac{l}{s}$	1	45	0	-
$t = 2.716 h$	2	6.50	29.5	-
$H = 16:58$	3	3.24	67	21
$\eta_{UT} = 0.897$	4	0.18	73.5	-
$\eta_{SST_1} =$	5	0.16	76	-
$\eta_{SST_2} = 0.857$	6	0.15	78	2

DATOS DE CONTROL	$Q$ [m <sup>3</sup> /h]	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	45	0	-
$t = 2.916 h$	2	5.10	30	-
$H = 17:10$	3	1.60	70.5	14
$\eta_{UT} = 0.904$	4	0.20	77	-
$\eta_{SST_1} =$	5	0.14	80	-
$\eta_{SST_2} = 0.642$	6	0.13	82.5	05
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	40	0	-
$t = 3.25 h$	2	6.1	31.5	-
$H = 17:30$	3	1.80	78	22
$\eta_{UT} = 0.897$	4	0.30	85.5	-
$\eta_{SST_1} =$	5	0.25	88	-
$\eta_{SST_2} = 0.571$	6	0.14	89.5	6
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	40	0	-
$t = 3.416 h$	2	2.01	32	-
$H = 17:40$	3	0.24	79.5	23
$\eta_{UT} = 0.913$	4	0.23	89.5	-
$\eta_{SST_1} =$	5	0.13	91	-
$\eta_{SST_2} = 0.50$	6	0.13	93.5	7

DATOS DE CONTROL	$Q$ [m <sup>3</sup> /h]	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{UT} =$				
$\eta_{SST_1} =$				
$\eta_{SST_2} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{UT} =$				
$\eta_{SST_1} =$				
$\eta_{SST_2} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{UT} =$				
$\eta_{SST_1} =$				
$\eta_{SST_2} =$				

ESTA TUBERIA  
 NO DEBE  
 SER ABASTECIDA  
 CON SALIN

Corrida: 8

Duración: 4 h

$\bar{V}$  filtración:  $5 \frac{m}{h}$

$Q_i$ :  $0.35 \frac{l}{s}$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Dosis:  $964 \frac{mg}{l}$

Fecha: 30 OCT 87

hoja: 2

DATOS DE CONTROL	$Q_M$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.31 \frac{l}{s}$	1	45	0	-
$t = 2.366 h$	2	5.40	12.5	-
$H = 3.12$	3	4.67	56.5	14
$\eta_{ur} = 0.945$	4	1.23	62	-
$\eta_{sur} =$	5	0.12	66	-
$\eta_{sur} = 0.857$	6	0.08	68	2
$Q = 0.31 \frac{l}{s}$	1	50	0	-
$t = 2.70 h$	2	5.10	13.5	-
$H = 3.32$	3	4.25	59.5	22
$\eta_{ur} = 0.950$	4	1.60	68	-
$\eta_{sur} =$	5	0.11	71	-
$\eta_{sur} = 0.928$	6	0.08	73	1
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	45	0	-
$t = 3.0 h$	2	5.80	14.5	-
$H = 3.50$	3	4.86	64.5	40
$\eta_{ur} = 0.938$	4	2.30	73	-
$\eta_{sur} =$	5	0.12	77	-
$\eta_{sur} = 0.928$	6	0.10	78	1

DATOS DE CONTROL	$Q_M$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	43	0	-
$t = 3.30 h$	2	5.40	14.5	-
$H = 4.08$	3	3.87	68.5	36
$\eta_{ur} =$	4	1.25	77.5	-
$\eta_{sur} =$	5	0.19	81.5	-
$\eta_{sur} = 0.785$	6	0.13	83	3
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	45	0	-
$t = 3.61 h$	2	5.61	14.5	-
$H = 4.27$	3	3.89	71	14
$\eta_{ur} = 0.864$	4	3.78	81.5	-
$\eta_{sur} =$	5	0.17	86.5	-
$\eta_{sur} = 0.50$	6	0.19	87.5	7
$Q = 0.30 \frac{l}{s}$	1	45	0	-
$t = 4.0 h$	2	6.10	14.5	-
$H = 4.50$	3	5.86	74	36
$\eta_{ur} = 0.901$	4	3.57	86	-
$\eta_{sur} =$	5	0.42	91.5	-
$\eta_{sur} = 0.571$	6	0.14	93.5	6

DATOS DE CONTROL	$Q_M$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$\eta_{sur} =$				

Corrida: 9

$\bar{v}$  filtración:  $10 \frac{m}{h}$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Fecha: 10/NOV/87

Duración: 1.0h

$Q_i$ :  $0.70 \frac{l}{s}$

Dosis:  $89.4 \frac{mg}{l}$

hoja: 1

S.S.T. inf = 14

$\bar{\eta}_{SS.T.} = 28.52$

$\bar{\eta}_{SS.T.} = 53.3$

$\bar{\eta}_{UT} = 78.7$

DATOS DE CONTROL	$Q$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.70 \frac{l}{s}$	1	4.34	0	-
$t = 0$	2	3.53	1.5	-
$H = 11:20$	3	1.35	9	16
$\eta_{UT} = 0.104$	4	1.04	15.5	-
$\eta_{SS.T.}$	5	0.95	21	-
$\eta_{SS.T.} = 0.357$	6	0.84	26	4
$Q = 0.70 \frac{l}{s}$	1	5.88	0	-
$t = 0.0833h$	2	5.20	4.5	-
$H = 11:25$	3	0.67	15	8
$\eta_{UT} = 0.5708$	4	0.53	21.5	-
$\eta_{SS.T.} = 0.428$	5	0.52	27	-
$\eta_{SS.T.} = 0.642$	6	0.44	32	5
$Q = 0.70 \frac{l}{s}$	1	9.05	0	-
$t = 0.15h$	2	6.05	6	-
$H = 11:29$	3	0.56	20	8
$\eta_{UT} = 0.676$	4	0.48	26.5	-
$\eta_{SS.T.} = 0.428$	5	0.45	29.5	-
$\eta_{SS.T.} = 0.50$	6	0.40	37	7

DATOS DE CONTROL	$Q$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.68 \frac{l}{s}$	1	10.2	0	-
$t = 0.216h$	2	5.78	7	-
$H = 11:33$	3	0.52	25	13
$\eta_{UT} = 0.765$	4	0.40	31	-
$\eta_{SS.T.} = 0.071$	5	0.29	37	-
$\eta_{SS.T.} = 0.286$	6	0.26	42	4
$Q = 0.66 \frac{l}{s}$	1	11.0	0	-
$t = 0.283h$	2	6.17	8	-
$H = 11:37$	3	0.79	30	9
$\eta_{UT} = 0.797$	4	0.26	37	-
$\eta_{SS.T.} = 0.357$	5	0.25	42	-
$\eta_{SS.T.} = 0.428$	6	0.25	47	8
$Q = 0.65 \frac{l}{s}$	1	14.1	0	-
$t = 0.35h$	2	6.4	9.5	-
$H = 11:41$	3	1.01	35.5	6
$\eta_{UT} = 0.797$	4	0.26	42.5	-
$\eta_{SS.T.} = 0.571$	5	0.25	47	-
$\eta_{SS.T.} = 0.714$	6	0.25	53	4

DATOS DE CONTROL	$Q$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.65 \frac{l}{s}$	1	14.2	0	-
$t = 0.416h$	2	6.8	11	-
$H = 11:45$	3	0.85	39.5	12
$\eta_{UT} = 0.797$	4	0.31	48	-
$\eta_{SS.T.} = 0.42$	5	0.30	54	-
$\eta_{SS.T.} = 0.642$	6	0.25	57	5
$Q = 0.64 \frac{l}{s}$	1	12.6	0	-
$t = 0.483h$	2	5.9	13	-
$H = 11:49$	3	1.41	43	14
$\eta_{UT} = 0.8218$	4	0.56	48	-
$\eta_{SS.T.} = 0$	5	0.23	54	-
$\eta_{SS.T.} = 1.0$	6	0.22	60	0
$Q = 0.64 \frac{l}{s}$	1	16.1	0	-
$t = 0.533h$	2	7.3	14	-
$H = 11:52$	3	2.45	49	16
$\eta_{UT} = 0.829$	4	0.45	57	-
$\eta_{SS.T.}$	5	0.26	62	-
$\eta_{SS.T.} = 0.286$	6	0.21	66	4

Corrida: 9

Duración: 1.0h

$\bar{v}$  filtración: 10  $\frac{m}{h}$

$Q_i$ : 0.70  $\frac{l}{s}$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Dosis: 89.4  $\frac{mg}{l}$

Fecha: 10NOV07

hoja 2

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S. S. T. [mg/l]
$Q = 0.63 \frac{l}{s}$	1	12.9	0	-
$t = 0.60h$	2	5.6	14	-
$H = 11:56$	3	2.59	54	-
$\eta_{ur} = 0.838$	4	0.31	62	-
$\eta_{sur} =$	5	0.22	67	-
$\eta_{sur} = 0.571$	6	0.20	72	6
$Q = 0.61 \frac{l}{s}$	1	18.5	0	-
$t = 0.66h$	2	5.8	15	-
$H = 12:00$	3	2.85	58.5	24
$\eta_{ur} = 0.7813$	4	0.30	67	-
$\eta_{sur} =$	5	0.28	72	-
$\eta_{sur} = 0.286$	6	0.27	77	4
$Q = 0.61 \frac{l}{s}$	1	15.5	0	-
$t = 0.75h$	2	6.4	16	-
$H = 12:05$	3	3.90	63	36
$\eta_{ur} = 0.854$	4	0.35	72	-
$\eta_{sur} =$	5	0.19	77	-
$\eta_{sur} = 0.286$	6	0.18	82	4

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S. S. T. [mg/l]
$Q = 0.60 \frac{l}{s}$	1	17.5	0	-
$t = 0.833h$	2	5.8	16	-
$H = 12:10$	3	2.67	68	44
$\eta_{ur} = 0.7732$	4	0.43	77.5	-
$\eta_{sur} =$	5	0.39	82.5	-
$\eta_{sur} = 0.571$	6	0.28	87	6
$Q = 0.60 \frac{l}{s}$	1	16.4	0	-
$t = 0.916$	2	6.4	17	-
$H = 12:15$	3	3.79	72	32
$\eta_{ur} = 0.8542$	4	0.62	82	-
$\eta_{sur} =$	5	0.25	87	-
$\eta_{sur} = 0.571$	6	0.18	92	6
$Q = 0.60 \frac{l}{s}$	1	29.9	0	-
$t = 1.0h$	2	5.6	18	-
$H = 12:20$	3	3.70	76	22
$\eta_{ur} = 0.862$	4	0.64	87	-
$\eta_{sur} =$	5	0.18	93	-
$\eta_{sur} = 0.857$	6	0.17	97	2

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S. S. T. [mg/l]
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$\eta_{sur} =$				

Corrida: 10

Duración: 1h

$\bar{V}$  filtración:  $10 \frac{m}{h}$

$Q_i = 0.70 \frac{l}{s}$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Dosis:  $85.1 \text{ mg/l}$

Fecha: 11 NOV 87

hija: 1

S.S.T. wf = 14

$\% \bar{\eta}_{\text{SST}} = 53.2$

$\% \bar{\eta}_{\text{SST}} = 85.1$

$\% \bar{\eta}_{\text{UT}} = 84.04$

DATOS DE CONTROL	$Q$ $\frac{l}{s}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.70 \frac{l}{s}$	1	4.0	0	-
$t = 0$	2	1.82	5	-
$H = 10:45$	3	0.70	12	2
$\eta_{\text{UT}} = 0.500$	4	0.95	18	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.857$	5	0.40	23.5	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.928$	6	0.38	28	1
$Q = 0.70 \frac{l}{s}$	1	4.30	0	-
$t = 0.166 \text{ h}$	2	2.38	12	-
$H = 10:55$	3	0.98	22	2
$\eta_{\text{UT}} = 0.586$	4	0.43	28	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.928$	5	0.35	34	-
$\eta_{\text{SST}} = 1.0$	6	0.31	38	0
$Q = 0.70 \frac{l}{s}$	1	4.40	0	-
$t = 0.216 \text{ h}$	2	3.56	14	-
$H = 10:58$	3	0.34	28	2
$\eta_{\text{UT}} = 0.810$	4	0.29	34	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.928$	5	0.22	40	-
$\eta_{\text{SST}} = 1.0$	6	0.20	44	0

DATOS DE CONTROL	$Q$ $\frac{l}{s}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.64 \frac{l}{s}$	1	5.40	0	-
$t = 0.283 \text{ h}$	2	5.05	17	-
$H = 11:02$	3	0.38	31.5	2
$\eta_{\text{UT}} = 0.870$	4	0.30	38	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.928$	5	0.25	43.5	-
$\eta_{\text{SST}} = 1.0$	6	0.15	48	0
$Q = 0.67 \frac{l}{s}$	1	6.00	0	-
$t = 0.333 \text{ h}$	2	5.43	19	-
$H = 11:05$	3	0.52	37	11
$\eta_{\text{UT}} = 0.8534$	4	0.25	42.5	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.214$	5	0.11	49	-
$\eta_{\text{SST}} = 1.0$	6	0.15	53	0
$Q = 0.65$	1	7.10	0	-
$t = 0.40 \text{ h}$	2	5.60	20.5	-
$H = 11:09$	3	0.47	42	7
$\eta_{\text{UT}} = 0.8743$	4	0.18	48.5	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.50$	5	0.16	54	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.642$	6	0.14	68	5

DATOS DE CONTROL	$Q$ $\frac{l}{s}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.63 \frac{l}{s}$	1	6.13	0	-
$t = 0.45 \text{ h}$	2	6.16	22	-
$H = 11:12$	3	0.95	47	9
$\eta_{\text{UT}} = 0.862$	4	0.16	53.5	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.357$	5	0.16	59	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.928$	6	0.16	63	1
$Q = 0.62 \frac{l}{s}$	1	8.31	0	-
$t = 0.516 \text{ h}$	2	5.22	23	-
$H = 11:16$	3	1.31	51	8
$\eta_{\text{UT}} = 0.801$	4	0.24	58	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.428$	5	0.23	63.5	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.785$	6	0.17	68	3
$Q = 0.62 \frac{l}{s}$	1	8.80	0	-
$t = 0.583 \text{ h}$	2	5.11	24.5	-
$H = 11:20$	3	1.91	56	12
$\eta_{\text{UT}} = 0.793$	4	0.36	63	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.442$	5	0.24	69	-
$\eta_{\text{SST}} = 0.928$	6	0.23	73	2

Corrida: 10

Duración: 1.0h

$\bar{v}$  filtración:  $10 \frac{m}{h}$

$Q_i$ :  $0.70 \frac{l}{s}$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Dosis:  $85.1 \frac{mg}{l}$

Fecha: 11 Nov 87.

hoja: 2

DATOS DE CONTROL	$Q$ $\frac{l}{s}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.61 \frac{l}{s}$	1	8.65	0	-
$t = 0.646h$	2	5.60	26	-
$H = 11:25$	3	2.04	61.5	24
$\eta_{ur} = 0.862$	4	0.84	69	-
$\eta_{sur} =$	5	0.22	74	-
$\eta_{sur} = 0.642$	6	0.16	78	5
$Q = 0.61 \frac{l}{s}$	1	8.05	0	-
$t = 0.733h$	2	5.33	27.5	-
$H = 11:29$	3	2.60	66.5	8
$\eta_{ur} = 0.8017$	4	0.24	74.5	-
$\eta_{sur} = 0.428$	5	0.23	74.5	-
$\eta_{sur} = 0.785$	6	0.20	83.5	3
$Q = 0.60 \frac{l}{s}$	1	9.45	0	-
$t = 0.816h$	2	5.60	28	-
$H = 11:34$	3	2.42	70	12
$\eta_{ur} = 0.862$	4	0.40	79	-
$\eta_{sur} = 0.142$	5	0.17	85	-
$\eta_{sur} = 0.857$	6	0.16	89	2

DATOS DE CONTROL	$Q$ $\frac{l}{s}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.60 \frac{l}{s}$	1	8.75	0	-
$t = 0.883h$	2	5.71	29	-
$H = 11:38$	3	2.81	74	20
$\eta_{ur} = 0.836$	4	0.43	85	-
$\eta_{sur} =$	5	0.22	89	-
$\eta_{sur} = 0.571$	6	0.19	93	6
$Q = 0.60 \frac{l}{s}$	1	9.70	0	-
$t = 1.0h$	2	5.11	30	-
$H = 11:45$	3	2.59	80	-
$\eta_{ur} = 0.853$	4	0.58	90	-
$\eta_{sur} =$	5	0.36	95	-
$\eta_{sur} =$	6	0.17	98.5	-
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$\eta_{sur} =$				

DATOS DE CONTROL	$Q$ $\frac{l}{s}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{sur} =$				
$\eta_{sur} =$				

Corrida: 11

$\bar{v}$  filtración: 2.5  $\frac{m}{h}$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Fecha: 16 NOV 87.

Duración: 21.66 h

$Q_i$ : 0.175  $\frac{l}{s}$

Dosis: 15 mg/l

Hoja: 1

S.S.T. inf: 8

$\% \bar{\eta}_{SSr} = 50$

$\% \bar{\eta}_{SSr} = 79$

$\% \bar{\eta}_{ur} = 58.74$

DATOS DE CONTROL	$Q_{M_A}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.175 \frac{l}{s}$	1	1.17	0	-
$t = 0$	2	0.97	1	-
$H = 11:45$	3	0.80	2.5	6
$\eta_{ur} = 0.3675$	4	0.85	3.5	-
$\eta_{SSr} = 0.25$	5	0.78	5	-
$\eta_{SSrE} = 1.0$	6	0.74	6	0
$Q = 0.175 \frac{l}{s}$	1	1.14	0	-
$t = 4.666 h$	2	2.03	3	-
$H = 16:25$	3	0.93	5	5
$\eta_{ur} = 0.3529$	4	0.88	6	-
$\eta_{SSr} = 0.375$	5	0.81	7.5	-
$\eta_{SSrE} = 0.750$	6	0.77	8	1
$Q = 0.175 \frac{l}{s}$	1	1.16	0	-
$t = 6.916 h$	2	2.20	11.5	-
$H = 18:40$	3	0.64	14	6
$\eta_{ur} = 0.4741$	4	0.66	15.5	-
$\eta_{SSr} = 0.25$	5	0.62	16.5	-
$\eta_{SSrE} = 0.750$	6	0.61	17	2

DATOS DE CONTROL	$Q_{M_A}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.175 \frac{l}{s}$	1	1.03	0	-
$t = 8.166 h$	2	2.04	16.5	-
$H = 19:55$	3	0.54	20	3
$\eta_{ur} = 0.5048$	4	0.55	21.5	-
$\eta_{SSr} = 0.625$	5	0.52	23	-
$\eta_{SSrE} = 0.750$	6	0.51	24	2
$Q = 0.175 \frac{l}{s}$	1	1.03	0	-
$t = 4.33 h$	2	2.06	20.5	-
$H = 21:05$	3	0.51	26	5
$\eta_{ur} = 0.5533$	4	0.44	27	-
$\eta_{SSr} = 0.375$	5	0.48	28.5	-
$\eta_{SSrE} = 0.500$	6	0.46	29.5	4
$Q = 0.175 \frac{l}{s}$	1	1.04	0	-
$t = 10.75 h$	2	2.64	26	-
$H = 22:25$	3	0.50	32.5	6
$\eta_{ur} = 0.642$	4	0.45	34	-
$\eta_{SSr} = 0.25$	5	0.43	35	-
$\eta_{SSrE} = 0.500$	6	0.34	36	4

DATOS DE CONTROL	$Q_{M_A}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.175 \frac{l}{s}$	1	1.20	0	-
$t = 11.75 h$	2	2.50	30	-
$H = 23:30$	3	0.44	40	8
$\eta_{ur} = 0.6833$	4	0.43	41	-
$\eta_{SSr} = 0$	5	0.41	42	-
$\eta_{SSrE} = 1.0$	6	0.38	43	0
$Q = 0.170 \frac{l}{s}$	1	1.02	0	-
$t = 12.75 h$	2	3.57	22.5	-
$H = 24:30$	3	0.40	25.5	1
$\eta_{ur} = 0.6470$	4	0.36	27.5	-
$\eta_{SSr} = 0.875$	5	0.36	29	-
$\eta_{SSrE} = 1.0$	6	0.34	30	0
$Q = 0.165 \frac{l}{s}$	1	0.95	0	-
$t = 13.916 h$	2	3.19	38	-
$H = 1:40$	3	0.42	53.5	2
$\eta_{ur} = 0.620$	4	0.34	55	-
$\eta_{SSr} = 0.750$	5	0.37	56.5	-
$\eta_{SSrE} = 0.675$	6	0.36	57.5	1

Corrida: 11

$\bar{V}$  filtración: 2.5  $\frac{m}{h}$

Coagulante: Sulfato de Aluminio

Fecha: 16 NOV 87

Duración: 21.66h

$Q_i$ : 0.175  $\frac{l}{s}$

Dosis 15 mg/l

hoja 2

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.160 \frac{l}{s}$	1	1.05	0	-
$t = 14.75h$	2	2.81	41.5	-
$H = 2:30$	3	0.38	59	2
$\eta_{ur} = 0.733$	4	0.32	61	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.750$	5	0.31	63.5	-
$\eta_{s.s.T.e} = 0.875$	6	0.28	64.5	1
$Q = 0.155 \frac{l}{s}$	1	0.77	0	-
$t = 15.75$	2	3.11	45.5	-
$H = 3:30$	3	0.38	66.5	5
$\eta_{ur} = 0.6443$	4	0.34	68.5	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.375$	5	0.27	69	-
$\eta_{s.s.T.e} = 1.0$	6	0.27	70	0
$Q = 0.155 \frac{l}{s}$	1	1.42	0	-
$t = 17.0h$	2	2.16	47	-
$H = 4:45$	3	0.31	72.5	3
$\eta_{ur} = 0.7676$	4	0.26	74.5	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.625$	5	0.25	76	-
$\eta_{s.s.T.e} = 0.875$	6	0.33	77	1

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q = 0.15 \frac{l}{s}$	1	0.89	0	-
$t = 18.75h$	2	2.58	46.5	-
$H = 6:30$	3	0.44	78.5	7
$\eta_{ur} = 0.6629$	4	0.37	80.5	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.125$	5	0.34	82	-
$\eta_{s.s.T.e} = 0.875$	6	0.30	83	1
$Q = 0.150 \frac{l}{s}$	1	0.73	0	-
$t = 21.25h$	2	1.44	51.5	-
$H = 9:00$	3	0.40	88.5	8
$\eta_{ur} = 0.5342$	4	0.35	90.5	-
$\eta_{s.s.T.} = 0$	5	0.34	93	-
$\eta_{s.s.T.e} = 0.375$	6	0.32	94	5
$Q = 0.150 \frac{l}{s}$	1	0.84	0	-
$t = 21.66h$	2	1.13	52.5	-
$H = 9:25$	3	0.39	92	4
$\eta_{ur} = 0.619$	4	0.36	94	-
$\eta_{s.s.T.} = 0.500$	5	0.32	95.5	-
$\eta_{s.s.T.e} = 0.625$	6	0.32	96.5	3

DATOS DE CONTROL	$Q_{MA}$	U.T.	$\Delta P$ [cm H <sub>2</sub> O]	S.S.T. [mg/l]
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{s.s.T.} =$				
$\eta_{s.s.T.e} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{s.s.T.} =$				
$\eta_{s.s.T.e} =$				
$Q =$				
$t =$				
$H =$				
$\eta_{ur} =$				
$\eta_{s.s.T.} =$				
$\eta_{s.s.T.e} =$				

## ANEXO 2. RESULTADOS DEL LAVADO DE LOS FILTROS

RETROLAVADO

FILTRO A

Corrida # 1  
 FECHA: 20 OCT 87

tiempo de lavado: 10 min

$$v_{filtración} = 5 \frac{m}{h}$$

$$Dosis de coagulante = 15 \frac{mg}{l}$$

Condiciones:

	Q	v	t
1º Aire	$\frac{31 \frac{m^3}{h}}$		5 min
Agua	$\frac{6 \frac{m^3}{h}}$	$\frac{24 \frac{m^3}{h}}$	$\frac{5 \text{ min}}$

2º

	Q	v	t
Aire	-	-	-
Agua	$\frac{6 \frac{m^3}{h}}$	$\frac{24 \frac{m^3}{h}}$	$\frac{5 \text{ min}}$

Flujo para  $\Delta P_{arena limpia}$ :  $\frac{0.45 \frac{l}{s}}$

tiempo (min)	Clave Frasco	Turbiedad
0	12	65.7
0.5	13	66
1	14	46.8
1.5	15	34.4
2	16	25.9
3	17	14.2
4	18	9.9
5	19	8.1
6	20	2.5
8	21	0.42
10	22	0.51

Toma	$\Delta P_{req.}$	$\Delta P_{después de lavar}$
1	0	0
2	4	4.5
3	10	10
4	15	15
5	20	19.8
6	24	24
$\Delta P_{TOTAL}$	24	24

## RETROLAVADO

Corrida # 2

FECHA: 27 OCT 87

tiempo de lavado: 10 min

Condiciones:

	Q	v	t
1º Aire	$\frac{31 \text{ m}^3}{\text{h}}$		5 min
Agua	$\frac{6}{[\text{m}^3/\text{h}]}$	$\frac{24 \text{ m}^3}{[\text{m}^3/\text{s}]}$	$\frac{5 \text{ min}}{[\text{min}]}$

2º

Aire			
Agua	$\frac{6}{[\text{m}^3/\text{h}]}$	$\frac{24 \text{ m}^3}{[\text{m}^3/\text{s}]}$	$\frac{5 \text{ min}}{[\text{min}]}$

FILTRO A

$$v_{filtración} = 5 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$\text{Dosis de coagulante} = 14 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Flujo para  $\Delta P_{\text{arena limpia}}$  : \_\_\_\_\_

tiempo (min)	Clave Frasco	Turbiedad
0	12	30.2
0.25	13	59.0
0.50	14	60
1.0	15	43.8
2.0	16	41.2
3	17	26.3
4	18	18.2
5	19	18.2
6	20	12.8
8	21	1.60
10	22	0.54
		0.23

Toma	$\Delta P_{\text{req.}}$	$\Delta P_{\text{después de lavar}}$
1	0	0
2	4	4
3	10	10
4	15	15
5	20	20
6	24	24
$\Delta P_{\text{TOTAL}}$	24	24

## RETROLAVADO

Corrida # 3

FECHA: 23oct87

tiempo de lavado: 10 min

Condiciones:

	Q	v	t
1º Aire	<u>31.5</u>	<u>5 min</u>	
Agua	<u>6</u>	<u>24.5</u>	<u>5 min</u>
	[m³/h]	[m/s]	[min]

2º

	Q	v	t
Aire	<u>6</u>	<u>24.5</u>	<u>5</u>
Agua	<u>6</u>	<u>24.5</u>	<u>5</u>
	[m³/h]	[m/s]	[min]

FILTRO A

$$v_{\text{filtración}} = 5 \frac{m}{h}$$

$$\text{Dosis de coagulante} = 92 \frac{mg}{l}$$

Flujo para  $\Delta P_{\text{arena limpia}}$ : 0.45 l

tiempo (min)	Clave Frasco	Turbiedad
0	1	53.3
0.25	2	57.8
0.50	3	41.4
1.0	4	30.5
2.0	5	22.9
3	6	12.6
4	7	8.8
5	8	6.15
6	9	2.74
8	10	0.41
10	11	0.20

Toma	$\Delta P_{\text{req.}}$	$\Delta P_{\text{después de lavar}}$
1	0	0
2	4	4
3	10	10
4	15	14.8
5	20	19.9
6	24	24
$\Delta P_{\text{TOTAL}}$	24	24

RETROLAVADO

Corrida # 4  
 FECHA: 26 Oct 87

tiempo de lavado: 10 min

Condiciones:

	Q	v	t
1º Aire	<u>31 m³/h</u>	<u>5 min</u>	
Agua	<u>6 m³/h</u>	<u>24 m³</u>	<u>5 min</u>
	[m³/h]	[m³]	[min]

tiempo (min)	Clave Frasco	Turbiedad
0	12	40.7
0.25	13	60.3
0.5	14	42.3
0.75	15	27
1.0	16	13.9
2	17	9.99
3	18	6.66
4	19	4.36
5	20	1.09
6	21	0.54
8	22	0.21
10		

FILTRO A

v<sub>Filtrada</sub> = 5 m³/h  
 Dosis de coagulante = 90 mg/l

2º

	Q	v	t
Aire	<u>6 m³/h</u>	<u>24 m³</u>	<u>5 min</u>
Agua	<u>6 m³/h</u>	<u>24 m³</u>	<u>5 min</u>
	[m³/h]	[m³]	[min]

Flujo para  $\Delta P_{\text{arena limpia}}$ : 0.45 l

Toma	$\Delta P_{\text{req}}$	$\Delta P_{\text{después de lavar}}$
1	0	0
2	4	4
3	10	10
4	15	15
5	20	20
6	24	24
$\Delta P_{\text{TOTAL}}$	24	24

## RETROLAVADO

FILTRO A

Corrida # 5

FECHA: 27 OCT 87

$$v_{filtración} = 5 \text{ m/h}$$

$$\text{Dosis de coagulante} = 83 \text{ mg/l}$$

tiempo de lavado: 10 min

Condiciones:

		Q	v	t
1º	Aire	$\frac{31 \text{ m}^3}{\text{h}}$	$\frac{5 \text{ m}}{\text{h}}$	5 min
	Agua	$\frac{6 \text{ m}^3}{\text{h}}$	$\frac{24 \text{ m}}{\text{h}}$	5 min

		Q	v	t
2º	Aire	-	-	-
	Agua	$\frac{6 \text{ m}^3}{\text{h}}$	$\frac{24 \text{ m}}{\text{h}}$	5 min

Flujo para  $\Delta P_{\text{arena limpia}}$ :  $0.45 \frac{1}{3}$

tiempo (min)	Clave Frasco	Turbiedad
0	12	47.0
0.25	13	57.2
0.50	14	56.8
1.00	15	38.5
2	16	16.1
3	17	7.1
4	18	6.2
5	19	5.05
6	20	1.84
8	21	0.28
10	22	0.35

Toma	$\Delta P_{\text{Req.}}$	$\Delta P_{\text{después de}}$
1	0	0
2	4	4.5
3	10	10.5
4	15	15.5
5	20	20.5
6	24	24.5
$\Delta P_{\text{TOTAL}}$	24	24.5

# RETROLAVADO

Corrida # 6

FECHA: 28/01/87

tiempo de lavado: 10 min

Condiciones:  $Q \quad v \quad t$

1º Aire  $\frac{31 \text{ m}^3}{\text{h}} \quad \frac{5 \text{ min}}{[m^3/h]} \quad [m^3/h]$   
 Agua  $\frac{6}{[m^3/h]} \quad \frac{24 \text{ m}^3}{[m^3/s]} \quad \frac{5 \text{ min}}{[min]}$

2º Aire  $\frac{-}{[m^3/h]} \quad \frac{-}{[m^3/s]} \quad \frac{-}{[min]}$   
 Agua  $\frac{6}{[m^3/h]} \quad \frac{24 \text{ m}^3}{[m^3/s]} \quad \frac{5}{[min]}$

Flujo para  $\Delta P_{\text{arena limpia}} : \underline{\text{av. } \frac{1}{2}}$

FILTRO A

$v_{\text{filtración}} = 5$   
 Dosis de Coagulante =  $82 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$

tiempo (min)	Clave Frasco	Turbiedad
0	1	88.1
0.25	2	95.2
0.5	3	78.2
1	4	34
2	5	14.8
3	6	8.20
4	7	5.28
5	8	4.72
6	9	1.77
8	10	0.17
10	11	0.13

Toma	$\Delta P_{\text{reg.}}$	$\Delta P_{\text{después de lavar}}$
1	0	0
2	4	4
3	10	10
4	15	15
5	20	20
6	24	24
$\Delta P_{\text{TOTAL}}$	24	24

# RETROLAVADO

Corrida # 7

FECHA: 24 OCT 87

tiempo de lavado: 10 min

Condiciones:

	Q	v	t
1º Aire	<u>31.5</u>	<u>5 min</u>	
Agua	<u>6</u>	<u>24.5</u>	<u>5 min</u>
	$\frac{m^3}{h}$	$\frac{m^3}{s}$	$[min]$

2º

Aire	Q	v	t
Agua	<u>6</u>	<u>24.5</u>	<u>5</u>
	$\frac{m^3}{h}$	$\frac{m^3}{s}$	$[min]$

FILTRO A

$\sqrt{}$  filtración =  $5 \frac{m}{h}$

Dosis de coagulante =  $98 \frac{mg}{l}$

Flujo para  $\Delta P_{\text{arena limpia}}$ : 0.454

Tiempo (min)	Clave Frasco	Turbiedad
0	12	94.7
0.25	13	89.9
0.5	14	68.4
1.0	15	48.9
2.0	16	19.1
3	17	4.82
4	18	6.66
5	19	4.68
6	20	1.67
8	21	0.14
10	22	0.11

Toma	$\Delta P_{\text{req.}}$	$\Delta P_{\text{después de lavar}}$
1	0	0
2	4	4
3	10	10
4	15	15
5	20	20
6	24	24
$\Delta P_{\text{TOTAL}}$	24	24

## RETROLAVADO

Corrida # 8

FECHA: 30 Oct 87

tiempo de lavado: 10 min

Condiciones:

	Q	v	t
1º Aire	<u>31.0</u>	<u>5</u>	
Agua	<u>1.205</u>	<u>6</u>	
	$[\frac{m^3}{h}]$	$[\frac{m^3}{s}]$	$[\text{min}]$

tiempo (min)	Clave Frasco	Turbiedad
0	1	50.8
0.25	2	62.5
0.50	3	50.1
1.0	4	38.7
2	5	16.1
3	6	7.5
4	7	5.40
5	8	4.57
6	9	1.82
7	10	0.18
10		0.12

## FILTRO A

$$\sqrt{\text{filtración}} = 5 \frac{m}{h}$$

$$\text{Dosis de Coagulante} = 96 \frac{mg}{l}$$

2º

Aire	Q	v	t
Agua	<u>1.205</u>	<u>6</u>	
	$[\frac{m^3}{h}]$	$[\frac{m^3}{s}]$	$[\text{min}]$

Flujo para  $\Delta P_{\text{arena limpia}}$ : 1.10

Toma	$\Delta P_{\text{reg.}}$	$\Delta P_{\text{después de lavar}}$
1	0	0
2	4	4
3	10	10
4	15	15
5	20	20
6	24	24
$\Delta P_{\text{TOTAL}}$	24	24

# RETROLAVADO

Corrida # 9

FECHA: 10 NOV 87

tiempo de lavado: 10 min.

Condiciones:

	Q	v	t
1º Aire	$\frac{31 \frac{m^3}{h}}{[m^3/h]}$		$\frac{5}{[min]}$
Agua	$\frac{24 \frac{m^3}{h}}{[m^3/h]}$		$\frac{5}{[min]}$

2º

Aire	Q	v	t
Agua	$\frac{6}{[m^3/h]}$	$\frac{24 \frac{m^3}{h}}{[m^3/h]}$	$\frac{5}{[min]}$

FILTRO A

$\sqrt{}$  Filtración =  $10 \frac{m}{h}$

Dosis de coagulante =  $89.4 \frac{mg}{l}$

Flujo para  $\Delta P_{\text{arena limpia}}$ :  $0.45 \frac{l}{s}$

tiempo (min)	Clave Frasco	Turbiedad
0	1	100
0.25	2	70.2
0.50	3	52.4
1.0	4	31.5
2	5	22.83
3	6	11.2
4	7	6.6
5	8	5.03
6	9	1.83
8	10	0.5
10	11	0.16

Toma	$\Delta P_{\text{req.}}$	$\Delta P_{\text{después de lavar}}$
1	0	0
2	4	4
3	10	10
4	15	15
5	20	20
6	24	24
$\Delta P_{\text{TOTAL}}$	24	24

# RETROLAVADO

FILTRO A

Corrida # 10

FECHA: 11 NOV 87

tiempo de lavado: 10

Condiciones:

	Q	v	t
1º Aire	$\frac{31 \frac{m^3}{h}}{[m^3/h]}$		$\frac{5}{[min]}$
Agua	$\frac{6}{[m^3/h]}$	$\frac{24 \frac{m^3}{s}}{[m^3/s]}$	$\frac{5}{[min]}$

$v_{filtración} = 10 \frac{m}{h}$   
 Dosis de coagulante =  $85.17 \frac{mg}{l}$

2º

Aire	-	-	-
Agua	$\frac{6}{[m^3/h]}$	$\frac{24 \frac{m^3}{s}}{[m^3/s]}$	$\frac{5}{[min]}$

Flujo para  $\Delta P_{arena limpia} : \frac{0.46 \frac{l}{s}}{}$

tiempo (min)	Clave Frasco	Turbiedad
0	1	63
0.25	2	75.1
0.50	3	58.3
1.0	4	38.9
2	5	21.6
3	6	11.3
4	7	6.5
5	8	5.12
6	9	2.10
8	10	0.88
10	11	0.18

Toma	$\Delta P_{req.}$	$\Delta P_{despues de lavar}$
1	0	0
2	4	4
3	10	10
4	15	15
5	20	20
6	24	24
$\Delta P_{TOTAL}$	24	24

## RETROLAVADO

Corrida # 11

FECHA: 16/08/87

tiempo de lavado: 10 min

Condiciones:

	Q	v	t
1º Aire	$\frac{31.5}{[m^3/h]}$		5
Agua	$\frac{6}{[m^3/h]}$	$\frac{24}{[m/s]}$	$\frac{5}{[min]}$

tiempo (min)	Clave Frasco	Turbiedad
0	1	59.6
0.25	2	59.6
0.50	3	56
1	4	59.6
2	5	58
3	6	59.2
4	7	57.4
5	8	57.0
6	9	56.2
8	10	55
10	11	54

FILTRO A

$$v_{filtración} = 2.5 \frac{m}{h}$$

$$\text{Dosis de coagulante} = 15 \frac{mg}{l}$$

2º

Aire	Q	v	t
Agua	$\frac{6}{[m^3/h]}$	$\frac{24}{[m/s]}$	$\frac{5}{[min]}$

Flujo para  $\Delta P_{arena}$  limpia: 0.46 l/s

Toma	$\Delta P_{req.}$	$\Delta P_{despues de lavar}$
1	0	0
2	4	4
3	10	10
4	15	15
5	20	20
6	24	24
$\Delta P_{TOTAL}$	27	27

### ANEXO 3. RENTABILIDAD Y VENTAJAS DEL PROCESO

El costo del m<sup>3</sup> de agua tratada en la planta es de: \$ 258.59 (datos proporcionados en la P.T.C.U.), con una eficiencia promedio de remoción de sólidos de 54.60%.

En las corridas experimentales realizadas encontramos que la eficiencia aumenta con el uso de coagulante. Así para la corrida No. 3 con v = 5 m/h la eficiencia es de 79% contra 54.60%, (para una dosis de coagulante de 15 mg/l). Este beneficio en términos económicos representa

$$15 \text{ mg/l} * \frac{1000 \text{ l}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} * \frac{\$1196}{\text{kg}} = \$ 17.94/\text{m}^3 \text{ de agua tratada}$$

Lo que significa que el uso de coagulante incrementa el costo del agua tratada en un 6.94% para un

precio del kg de  
Sulfato de Al grado  
industrial de \$ 1,196.00\* IVA incluido

Ventajas y Desventajas del proceso de filtración con el uso de Sulfato de Aluminio como coagulante

#### VENTAJAS

- 1) El usar coagulante en la filtración aumenta la eficiencia
- 2) Si se presentan variaciones de cantidad de sólidos en el influente, en el efluente no se perciben estas variaciones
- 3) Los lodos removidos tienen una mejor consistencia y por lo tanto penetran mejor en el medio filtrante
- 4) El costo del sulfato de aluminio es bajo.

---

#### NOTA:

\* DROGUERIA COSMOPOLITA (a partir de 5 kg.)

**DESVENTAJAS**

- 1) Para un mismo medio filtrante, el uso de coagulante provoca que las corridas de filtración sean más cortas y, por lo tanto la producción de agua tratada es menor.
  
- 2) Para filtrar con las mismas condiciones de velocidad de filtración y altura de columna de agua con el uso de coagulante se tiene que usar medios con talla efectiva (distinta) mayor que en filtración sin coagulante, para obtener más o menos buenos resultados.

#### ANEXO 4. JUSTIFICACION DEL TRABAJO

En México la mayoría de los filtros diseñados para el tratamiento de efluentes secundarios emplean una combinación de arena con antracita. Pero este último tiene el inconveniente de ser demasiado caro ( $300 \text{ USD/m}^3$ ), por lo que se planteó la posibilidad de usar sólo arena ( $\sim 100\,000 \text{ \$/m}^3$ ). Esta modificación implica el empleo de arena con tamaño específica grande, disminuyendo la eficiencia en la remoción de partículas finas. Por ello, se pensó que el agregar un coagulante resolvería este problema. Entre los coagulantes más comunes se tiene el Cloruro Férrico y el Sulfato de Aluminio, pero el cloruro férrico dificulta el tratamiento biológico de los lodos contenidos en el agua de lavado. Así que, se optó por el sulfato de Aluminio.

En este trabajo se obtuvieron parámetros que pueden ser de

utilidad para el diseño de filtros de arena con coagulación directa.

La aplicación de este proceso depende del uso al cual se destine el agua tratada y si se justifica el gasto \$ 17/m<sup>3</sup> más.