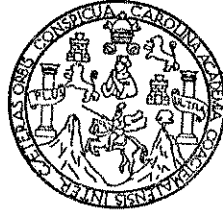


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

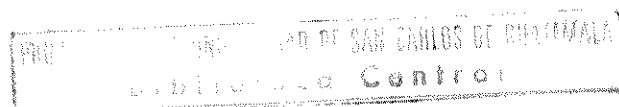
**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO  
DE SISTEMAS DE FILTRACIÓN  
PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA**

**TESIS  
PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**POR  
CARINA ELIZABETH PACAY MACZ**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERA QUÍMICA**

**GUATEMALA, OCTUBRE DE 1997**



# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1°	Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra
VOCAL 2°	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3°	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4°	Ing. Victor Rafael Lobos Aldana
VOCAL 5°	Br. Wagner Gustavo López Cáceres
SECRETARIA	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Julio Chávez Montúfar
EXAMINADOR	Ing. Oscar Rosal Higueros
SECRETARIA	Ing. Gilda Marina Castellanos de Illescas

*Guatemala, agosto 11 de 1997.*

*Ingeniero  
Julio Chavez  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
USAC*

*Señor Director:*

*Por este medio me permito comunicarle que he asesorado el trabajo de tesis titulado ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE FILTRACIÓN PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA, de la estudiante Carina Elizabeth Pacay Macz.*

*Habiendo finalizado satisfactoriamente tanto la fase práctica como la redacción final, dejo constancia de mi aprobación para dicho trabajo, por lo que solicito a usted se proceda a su revisión por parte de la Dirección a su cargo.*

*Me suscribo de usted, atentamente:*



*Ing. Fidas Marroquín García Granados  
Asesor*



Guatemala 5 de septiembre de 1997

Ingeniero:

**Julio Chavez M.**

*Director de la Escuela de Ingeniería Química*

*Facultad de Ingeniería*

Ciudad Universitaria

Señor Director:

por medio de la presente quiero informarle de he efectuado la **revisión del trabajo de tesis titulado ANALISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE FILTRACION PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA**, de la estudiante **CARINA ELIZABETH PACAY MACZ**.

Considero que la misma cumple los requisitos establecidos por la Escuela de Ingeniería Química, siendo un ejemplo de aplicación de la Ingeniería Química en beneficio de la población.

Me suscribo de usted atentamente,

**Ing. Carlos S. Wong Davi**  
**Revisor de Tesis**  
**colegiado N° 561**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ing. Julio Chávez Montúfar, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis de la estudiante Carina Elizabeth Pacay Macz, titulado: **ANALISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE FILTRACION PARA LA POTABILACION DE AGUA**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Julio Chávez Montúfar  
DIRECTOR  
ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 24 de octubre de 1,997.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



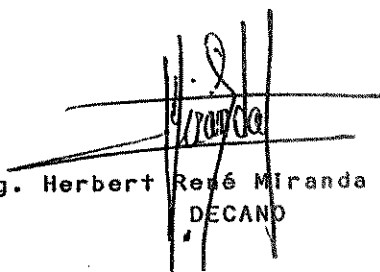
**FACULTAD DE INGENIERIA**

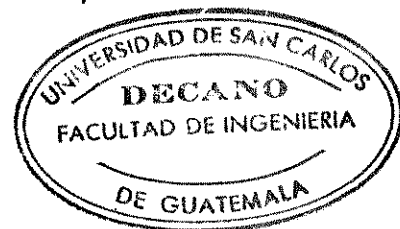
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis de la estudiante Carina Elizabeth Pacay Macz, titulado: **ANALISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO DE SISTEMAS DE FILTRACION PARA LA POTABILIZACION DE AGUA**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

**IMPRIMASE:**

  
Ing. Herbert René Miranda Barrios  
DECANO



Guatemala, 24 de octubre de 1,997.

ACTO QUE DEDICO:

A DIOS

*Mi fortaleza y protección, por permitirme alcanzar esta meta, la que mediante su guía encaminaré a su servicio.*

A MI MADRE

*Elena Macz vda. De Pacay, por su lucha incansable, sus sacrificios y oraciones, quién toda mi vida será el ejemplo que oriente mi actuar como mujer, profesional y madre; con todo mi amor y eterno agradecimiento.*

A LA MEMORIA DE  
MI PADRE

*Armando Aníbal Pacay, quién es y será siempre la estrella que me acerca más a Dios.*

A LA MEMORIA DE  
MIS ABUELTOS

*Por sus sabias enseñanzas, de manera especial a Vicente Macz y Augustina de Macz, que con su vida ejemplar están siempre presentes en mis recuerdos.*

A MIS HERMANOS

*Mayda, Williams y Darwin, por su comprensión y apoyo; por compartir triunfos, fracasos y penalidades, con mucho cariño y gratitud.*

A MIS TÍOS Y PRIMOS

*De los que nunca me ha faltado su protección y afecto, especialmente: Margarita Macz de Revolorio, que con su ayuda, generosidad y cariño ha sido un pilar imprescindible en cada uno de mis logros. Matilde Macz, por su cariño maternal, atenciones y consejos. Ribertina Macz de Caal, con sincero agradecimiento por brindarme su hogar y afecto. Vicente Adán Macz y Rosario de Macz, por su cariño y permanente apoyo.*

A MIS COMPAÑEROS  
Y AMIGOS

*Por brindarme su amistad que espero conservar siempre; de forma especial a Evelyn, Claudia María, Floribel, Ingrid, Yadira, Jennifer y Jananna.*

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA

*Por permitirme adquirir conocimientos y experiencias que como recompensa espero poner en práctica con un desempeño profesional honesto.*

AGRADECIMIENTO:

AL INGENIERO FIDIAS MARROQUÍN GARCÍA GRANADOS

*Por su valiosa asesoría, por compartir sus amplios conocimientos y por la colaboración prestada en la realización de la presente investigación.*

AL PERSONAL DEL LABORATORIO BIOLÓGICO INDUSTRIAL "LABIND":

*Por el apoyo brindado de manera permanente, muy especialmente al Lic. Juan Mario Dary y Lic. Francis Villatoro por su impulso, colaboración y estima.*

*A Yadira Linares y Jennifer Mac Donald por la ayuda prestada en la realización de este informe.*



## ÍNDICE GENERAL

	<b>LISTA DE ILUSTRACIONES</b>	<b>iii</b>
	<b>GLOSARIO</b>	<b>vi</b>
	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>vii</b>
	<b>RESUMEN</b>	<b>viii</b>
<b>1</b>	<b>JUSTIFICACIONES</b>	<b>01</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>02</b>
<b>3</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>03</b>
<b>4</b>	<b>ANTECEDENTES</b>	
	4.1 Teoría de la filtración	04
	4.2 Clasificación de la filtración	04
	4.3 Variables que afectan a la filtración	05
	4.4 Mecanismos que intervienen en la filtración	07
	4.5 La filtración en plantas de tratamiento para la obtención de agua potable	07
	4.6 Filtros de gravedad	10
	4.7 Filtros de presión	10
	4.8 Diseño de filtros	12
	4.8.1 Profundidad del lecho y materiales filtrantes	13
	4.8.2 Sistemas de drenaje inferior	14
	4.8.3 Redes de tuberías	15
	4.8.4 Profundidad de los lechos de grava y grava de filtros	15
	4.8.5 Pisos de filtros	16
	4.8.6 Intensificación del lavado	16
	4.8.7 Canaletas de lavado	17
	4.8.8 Dimensiones de los filtros y los conductos	18
	4.8.9 Accesorios de los filtros	19
	4.8.10 Duración de los ciclos de los filtros	20

		<i>ii</i>
<b>5</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b>	
	6.1 Cuadros y gráficas de remoción de turbiedad	30
	6.2 Cuadros y gráficas de reducción de parámetros microbiológicos	30
	6.3 Cuadros y gráficas de períodos de filtración	32
	6.4 Cuadros y gráficas de períodos de lavado	33
<b>7</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>34</b>
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b><i>ix</i></b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b><i>x</i></b>
	<b>REFERENCIAS</b>	<b><i>xi</i></b>
	<b>ANEXO</b>	<b><i>xii</i></b>
	1 Cuadros	
	2 Gráficas	<b><i>xxi</i></b>
	3 Procedimientos recomendados para la operación y mantenimiento del sistema de filtración por gravedad	<b><i>xxviii</i></b>
	4 Esquema de unidad de filtración por presión	<b><i>xxvi</i></b>
	5 Esquema de unidad de filtración por gravedad	<b><i>xxxvii</i></b>
	6 Mapa de ubicación de planta de tratamiento Santa Luisa	<b><i>xxxviii</i></b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

## GRÁFICAS

01	Turbiedades de entrada y salida al sistema de filtración por presión.	<i>xxii</i>
02	Turbiedades de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad	<i>xxiii</i>
03	Porcentajes de remoción de turbiedad para el sistema de filtración por presión.	<i>xxiv</i>
04	Porcentajes de remoción de turbiedad para el sistema de filtración por gravedad.	<i>xxiv</i>
05	Análisis comparativo de los porcentajes de remoción de turbiedad alcanzados por los sistemas evaluados.	<i>xxv</i>
06	Recuento aeróbico total de entrada y salida al sistema de filtración por presión en marzo de 1997.	<i>xxvi</i>
07	Recuento aeróbico total de entrada y salida al sistema de filtración por presión en abril de 1997.	<i>xxvi</i>
08	Recuento aeróbico total de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad en mayo de 1997.	<i>xxvi</i>
09	Recuento aeróbico total de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad en junio de 1997.	<i>xxvi</i>
10	Coliformes totales de entrada y salida al sistema de filtración por presión en marzo de 1997.	<i>xxvii</i>
11	Coliformes totales de entrada y salida al sistema de filtración por presión en abril de 1997.	<i>xxvii</i>
12	Coliformes totales de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad en mayo de 1997.	<i>xxvii</i>
13	Coliformes totales de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad en junio de 1997.	<i>xxvii</i>
14	Coliformes fecales de entrada y salida al sistema de filtración por presión en marzo de 1997.	<i>xxviii</i>

15	Coliformes fecales de entrada y salida al sistema de filtración por presión en abril de 1997.	<b>xxviii</b>
16	Coliformes fecales de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad en mayo de 1997.	<b>xxviii</b>
17	Coliformes fecales de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad en junio de 1997.	<b>xxviii</b>
18	Porcentajes de reducción de recuento aeróbico total mediante los sistemas estudiados.	<b>xxix</b>
19	Porcentajes de reducción de coliformes totales mediante los sistemas estudiados.	<b>xxix</b>
20	Porcentajes de reducción de coliformes fecales mediante los sistemas estudiados.	<b>xxix</b>
21	Duración de períodos de filtración para turbiedades bajas.	<b>xxx</b>
22	Duración de períodos de filtración para turbiedades altas.	<b>xxxi</b>
23	Duración de períodos de lavado de diversas unidades de los sistemas estudiados.	<b>xxvii</b>

## CUADROS

01	Turbiedades de entrada y salida al sistema de filtración por presión durante marzo y abril de 1997 y sus correspondientes porcentajes de remoción.	<b>xiii</b>
02	Turbiedades de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad durante mayo y junio de 1997 y sus correspondientes porcentajes de remoción.	<b>xiv</b>
03	Recuento aeróbico total, coliformes totales y coliformes fecales de entrada y salida al sistema de filtración por presión durante marzo y abril de 1997 y sus correspondientes porcentajes de remoción.	<b>xv</b>

04	Recuento aeróbico total, coliformes totales y coliformes fecales de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad durante mayo y junio de 1997 y sus correspondientes porcentajes de remoción.	<i>xvi</i>
05	Duración de los períodos de filtración para unidades de los dos sistemas estudiados con turbiedades de entrada bajas (época de verano).	<i>xvii</i>
06	Duración de los períodos de filtración para unidades de los dos sistemas estudiados con turbiedades de entrada altas (época de invierno).	<i>xviii</i>
07	Duración de períodos de lavado para unidades del sistema de filtración por presión en abril de 1997.	<i>xlx</i>
08	Duración de períodos de lavado para unidades del sistema de filtración por gravedad en mayo de 1997.	<i>xx</i>

## **FIGURAS**

Esquema de unidad de filtración por presión	<i>xxxvi</i>
Esquema de unidad de filtración por gravedad	<i>xxxvii</i>
Mapa de ubicación de planta de tratamiento "Santa Luisa"	<i>xxxviii</i>

## GLOSARIO

**Filtración** es la operación unitaria mediante la cual se logra la separación de una mezcla de sólidos y fluidos que incluye el paso de la mayor parte del fluido a través de un medio poroso, que retiene la mayor parte de las partículas sólidas contenidas en la mezcla.

**Filtrado** lo constituye el líquido que ha sido sometido a un proceso de filtración

**Filtro** es un equipo por medio del que se realiza la operación de filtración.

**Grupo coliforme** incluye todas las bacterias en forma de bacilos, aerobias y anaerobias facultativas, gram-negativas, no esporuladas, que fermentan la lactosa con formación de gas, dentro de las 48 horas, a una temperatura de  $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ .

**Medio filtrante** es la barrera que permite en una operación de filtración, que pase el líquido, mientras retiene la mayor parte de los sólidos. Dicho medio puede ser una pantalla, tela, papel, o un lecho sólido como la arena.

**Potabilización del agua** es el proceso mediante el cual las características físicas, químicas y microbiológicas del agua son transformadas para hacerlas adecuadas al consumo humano.

**Recuento aeróbico total** representa el número total de microorganismos presentes por centímetro cúbico de agua. La forma en que se reporta es UFC/cm<sup>3</sup> (unidades formadoras de colonias por centímetro cúbico de muestra). Dicho recuento involucra la presencia de bacilos, sarcinas y otros microorganismos no necesariamente patógenos presentes en el agua.

**Tratamiento de agua** es uno o más procesos unitarios por medio de los cuales se mejora la calidad del agua. Para ello es necesaria una infraestructura mínima que logre eficiencias adecuadas de remoción de características físicas, químicas y microbiológicas no deseadas.

**Turbiedad** se define como el efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través del agua que contiene pequeñas partículas en suspensión.

## INTRODUCCIÓN

Las plantas de tratamiento que abastecen de agua potable a la ciudad capital han empleado, desde sus orígenes hasta la actualidad, diversidad de diseños para desarrollar los procesos necesarios y obtener resultados satisfactorios en cuanto a la calidad del agua para consumo de la población.

Por lo general, los sistemas de tratamiento se han construido en base a diseños que obedecen a necesidades de países desarrollados con características diferentes a las del nuestro, en aspectos tales como la calidad del agua al entrar a la planta, caudales, y sobre todo, a recursos tanto económicos como humanos para el control y mantenimiento que se requiere.

La planta de tratamiento de agua Santa Luisa, situada al oeste de la ciudad capital, en las inmediaciones de la Aldea Acatán, cuenta actualmente con dos sistemas de filtración; uno que corresponde al diseño de **Filtración a Presión**, el cual consiste en dos baterías de filtros rápidos, una posee 10 unidades con lecho de arena; y la otra, 6 unidades con lecho de antracita y 3 con lecho de arena; el otro sistema, cuyo diseño corresponde al tipo de **Filtración por Gravedad**, consta de 6 filtros rápidos con lecho de arena.

Tal hecho hace posible la realización de un estudio comparativo en el que pueda establecerse cuál es el diseño de sistemas de filtración para la potabilización de agua más adecuado a nuestras necesidades, las modificaciones que permitan mejorar su funcionamiento y los procedimientos más eficientes para su control y mantenimiento.

## RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo de tesis consiste en determinar mediante un análisis comparativo de dos sistemas de filtración para potabilización de agua, el diseño más eficiente de acuerdo a las condiciones que imperan en nuestro medio.

Para lograr dicho objetivo fueron evaluados por cuatro meses los dos sistemas de filtración ubicados en la planta de tratamiento de agua Santa Luisa de la Empresa Municipal de Agua EMPAGUA, ubicada al oeste de la ciudad capital. Uno de los sistemas corresponde al diseño de filtración por presión y el otro al diseño de filtración por gravedad.

La metodología empleada en la evaluación de dichos sistemas consistió en establecer el grado de remoción de contaminantes alcanzado por cada uno, determinándose para ello concentraciones de la turbiedad y parámetros bacteriológicos en el agua, antes y después de la filtración; así mismo, se procedió a evaluar la duración de los períodos de filtración y de lavado presentados por las diferentes unidades de filtración que constituyen cada sistema.

Los resultados obtenidos permitieron establecer que es el sistema de filtración por Gravedad el que se adapta de mejor forma a nuestras necesidades, logrando tanto un porcentaje de remoción de contaminantes mucho mayor al alcanzado por el sistema a Presión, como períodos de filtrado y períodos de lavado más eficientes, que representan menores costos y mayor facilidad de operación y mantenimiento.



## 1. JUSTIFICACIONES

La creciente demanda de abastecimiento de agua a las ciudades hace necesaria la determinación de los diseños más provechosos para plantas de tratamiento en la obtención de agua potable.

En la actualidad, existen en la ciudad capital cinco plantas de tratamiento para abastecer de agua potable a toda la ciudad, las que frecuentemente presentan problemas de funcionamiento que provocan la suspensión del servicio por largos períodos para efectuar reparaciones que representan elevados costos. Entre las principales causas de este grave problema debe incluirse el diseño no adecuado tanto a la demanda del servicio, como también a las deficiencias en cuanto a personal y equipo de mantenimiento con que se cuenta.

La etapa de filtración, como uno de los procedimientos finales en la potabilización de agua, es de gran importancia, puesto que tiene como función reducir la concentración de componentes físicos, químicos y microbiológicos que se encuentran en exceso, hasta niveles permitidos para el consumo humano; por lo que es necesario llegar a definir el diseño más adecuado a las necesidades tanto presentes como futuras de nuestra realidad nacional.

La Ingeniería Química contempla dentro de sus campos de acción la operación unitaria de **filtración**, estudiando profundamente las variables y mecanismos que en ella intervienen, por lo que corresponde a los profesionales de esta disciplina evaluar y solucionar el problema que se plantea.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL :

Determinar el diseño de sistemas de filtración más eficiente para la potabilización de agua de abastecimiento municipal..

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS :

- 2.2.a. Establecer el grado de remoción de contaminantes en el agua que cada diseño es capaz de obtener.
- 2.2.b. Establecer las razones por las que un sistema de filtración puede considerarse mejor que el otro.
- 2.2.c. Analizar las ventajas y desventajas que cada diseño presenta.
- 2.2.d. Establecer que sistema presenta mayor facilidad de operación y mantenimiento.
- 2.2.e. Determinar condiciones de operación óptimas para el diseño más eficiente.
- 2.2.f. Redactar un procedimiento de operación a seguir para el eficiente funcionamiento del sistema de filtración.

### 3. HIPÓTESIS

En plantas de tratamiento para la potabilización de agua, el diseño de sistemas de filtración por gravedad es más eficiente que el de los sistemas de filtración por presión.

## 4. ANTECEDENTES

### 4.1 TEORÍA DE LA FILTRACIÓN

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

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

donde, para el caso general de la filtración, la resistencia es la suma de la resistencia del medio filtrante y la de la torta o medio filtrante. La teoría de la filtración, aunque nunca se utilizó para el diseño de un filtro para una operación dada, es valiosa para interpretar análisis de laboratorio, buscar las condiciones óptimas de filtración y predecir los efectos de los cambios en las condiciones operacionales.

Una vez que se forma la capa de partículas sólidas en el medio filtrante, su superficie actúa como medio filtrante, de modo que los sólidos se depositan y se agregan al espesor de la torta, mientras que el licor claro pasa por ella. Por consiguiente, la torta se compone de una masa a granel de partículas de formas irregulares, por entre las cuales corren canales pequeños.

### 4.2 CLASIFICACIÓN DE LA FILTRACIÓN

La filtración y los filtros se pueden clasificar en varias formas :

- a. Por la fuerza impulsora. Se induce el flujo del filtrado por el medio filtrante mediante la carga hidrostática (gravedad), presión sobreatmosférica o vacío aplicada corriente arriba del medio filtrante, presión subatmosférica aplicada corriente abajo del citado medio o fuerza centrífuga a través de este último.
- b. Por el mecanismo de filtración. Aunque el mecanismo para la separación y acumulación de sólidos no se comprende claramente, dos modelos suelen ser considerados y constituyen la base para la aplicación de la teoría al proceso de filtración. Cuando los sólidos quedan detenidos en la superficie de un medio de

filtración y se amontonan unos sobre otros para formar una torta de creciente espesor, la separación es conocida como filtración de torta. Cuando los sólidos quedan atrapados dentro de los poros o cuerpo del medio de filtración, se le denomina medio filtrante de profundidad, o filtración clarificadora.

- c. Por la función. La meta del proceso de filtración puede ser la obtención de sólidos secos, líquido clarificado o ambas cosas. La recuperación de buenos sólidos se obtiene mejor mediante la filtración de torta, mientras que la clarificación del líquido se logra ya sea por la filtración de profundidad o de torta.
- d. Por ciclo operacional. Los filtros pueden ser intermitentes o continuos y los filtros por lotes se pueden manejar con una fuerza impulsora de presión constante, a velocidad constante o en ciclos variables, con respecto tanto a la presión como a la velocidad. El ciclo por lotes puede variar grandemente, dependiendo del área de filtrado y la carga de sólidos.
- e. Por la naturaleza de los sólidos. La filtración de tortas puede incluir una acumulación de sólidos substancialmente incompresibles, que corresponden, más o menos, en la filtración de medio de filtro, a partículas deformables y rígidas. El tamaño de partículas o de agregados de partículas puede ser del mismo orden de magnitud que el tamaño de poros mínimos de la mayor parte de los medios de filtración.

#### 4.3 VARIABLES QUE AFECTAN A LA FILTRACIÓN

**El efecto de la presión** se modifica en la mayor parte de las filtraciones industriales, en donde la compresibilidad de la torta se encuentra por lo común entre 0.1 y 0.8. Además, la resistencia del medio de filtración reduce los efectos de las variables respectivas. Sin embargo, se ha descubierto que es válido el hecho de que, en la filtración, de sólidos granulares o cristalinos, un aumento de la presión provoca un incremento casi proporcional de la velocidad de flujo. Los precipitados floculentos o limosos, por su parte, tienen velocidades de filtración que sólo aumentan ligeramente al incrementarse la presión.

La mayor parte de los filtros a presión se alimentan por medio de bombas centrífugas y la operación se realiza en la modalidad de velocidad variable y presión variable.

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

**El efecto de la viscosidad** es como lo indican las ecuaciones de velocidad: la velocidad de flujo de filtrado en cualquier instante es inversamente proporcional a la viscosidad de filtrado.

**El efecto de la temperatura** sobre la velocidad de filtración de sólidos incompresibles es evidente, sobre todo, mediante su efecto sobre la viscosidad. La viscosidad de la mayor parte de los líquidos disminuye notablemente al elevarse la temperatura. Por ende, las temperaturas más altas permiten velocidades más elevadas de filtración; para el caso del agua, un aumento de 20 a 60° C duplicaría la velocidad de flujo.

**El efecto de tamaño de partículas** sobre la resistencia de la torta es muy notable. Incluso los cambios pequeños en el tamaño de partículas afectan la resistencia de la torta, y cambios mayores afectan la compresibilidad. El tamaño menor de partículas da como resultado velocidades más bajas de filtración y contenido más alto de humedad en la torta; pero a veces, también una mayor eficiencia de lavado.

**El efecto del tipo de medio filtrante** no se reconoce con frecuencia en forma completa. En la selección del medio para una filtración dada, se debe alcanzar un equilibrio entre un tejido tan abierto como sea factible, para reducir los atascamientos y tan apretado como sea necesario, para evitar la purga excesiva de las partículas finas. Después de que se haya formado sobre el medio un espesor de torta, la purga se suele detener, puesto que las partículas finas quedan atrapadas en la torta misma.

#### 4.4 MECANISMOS QUE INTERVIENEN EN LA FILTRACIÓN

La eliminación de sólidos por filtración incluye varios mecanismos, algunos de carácter físico y otros de carácter químico. Estos mecanismos incluyen la adsorción y el colado.

La adsorción depende de las características físicas de los sólidos en suspensión y el medio filtrador. Es una función del tamaño de grano del medio filtrador y de las propiedades del flóculo, como el tamaño, la resistencia al esfuerzo cortante y la adhesividad. También afectan a la adsorción las características químicas de los sólidos suspendidos, el agua y el medio filtrador. El área de la superficie donde se efectúa la adsorción es enorme, varía entre 3,000 y 5,000 pies cuadrados por pie cúbico de medio. El colado, que se presenta en todos los filtros de medio granular es el factor principal que determina la jornada del filtro. La característica principal del diseño de un buen filtro es el reducir a un mínimo el colado, ya que produce una pérdida rápida en la presión. Esto es debido a que el colado forma una torta sobre la superficie del lecho filtrante (en especial, en los filtros de arena), de manera que la torta depositada actúa como medio filtrador. El medio filtrador se hace más fino a medida que se forma la torta y la pérdida de presión aumenta exponencialmente con el tiempo.

#### 4.5 LA FILTRACIÓN EN PLANTAS DE TRATAMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA POTABLE

El primer intento de tratamiento de aguas por filtración que tuvo éxito, fué en una pequeña planta de carbón vegetal, arena y grava, construida en 1,855 para satisfacer los requisitos del municipio de Elizabeth, Nueva Jersey. Hacia el fin de 1,860 ya se habían construido 136 plantas en los Estados Unidos y 10 en Canadá.

Durante los primeros quince años de este siglo se dieron grandes pasos en la construcción de numerosas plantas de filtración. El período que va de 1,919 hasta la actualidad ha sido el de perfeccionamiento de la operación y se prestó mucha atención al acondicionamiento apropiado del agua para la filtración.

En general, los filtros empleados para la purificación de agua son los denominados **filtros de arena**.

Hay dos clases de filtros de arena: los de acción lenta y los de acción rápida, y éstos a su vez, se dividen en filtros de superficie libre o de gravedad y filtros de presión.

En los filtros de acción lenta, el agua pasa por gravedad a través de la arena a baja velocidad que generalmente varía de 1,870 a 9,350 litros diarios por metro cuadrado. (1.30 - 6.52 l/min/m<sup>2</sup>). La separación de las materias sólidas se efectúa al pasar el agua por los poros de la capa filtrante y adherirse las partículas sólidas a los granos de arena. Después de un largo período de servicio, quedan tapados los poros de la capa arenosa y ésta debe limpiarse. Es recomendable someter a tratamiento previo el agua que ha de pasar por los filtros lentos de arena.

En la filtración de arena de acción rápida con superficie libre, o de gravedad, el agua desciende por gravedad a través de la arena que varía de 81.5 a 122.2 l/min/m<sup>2</sup> (117,000 a 176,000 l/día/m<sup>2</sup>). Es indispensable el pretratamiento con un coagulante para quitar la mayor parte de las materias en suspensión por asentamiento. El filtro de arena rápida se limpia con una corriente de agua en dirección contraria que expande y lava la arena y se lleva al desagüe los sólidos acumulados.

Los filtros de presión son cilindros de acero herméticos. Su velocidad de filtración varía de 81.5 a 163 l/min/m<sup>2</sup>. Se limpian con una corriente de agua en sentido inverso. El pretratamiento es siempre provechoso y si el agua es para el consumo público es tan indispensable como lo es para los filtros de gravedad de superficie libre.

**Desarrollo de filtros de arena de acción rápida.** La invención de los filtros de arena de acción rápida proporcionó la solución a la falta de aguas naturales de superficie apropiadas para la purificación con la filtración de arena lenta. Empleando este método, las aguas muy turbias, pretratadas con la coagulación y la sedimentación, pueden filtrarse satisfactoriamente a través de la arena a una velocidad rápida.



Los puntos principales en los cuales un filtro de arena de acción rápida difiere de un filtro de arena lenta son: la velocidad muy rápida de filtración, el uso necesario de un coagulante y el método de lavado de la arena.

**Aplicabilidad de los filtros rápidos.** La filtración de arena de acción rápida es aceptada ahora como medio satisfactorio para corregir ciertos defectos en aguas que de otro modo serían inservibles o indeseables para los usos domésticos u otros. Entre estos defectos están: la turbiedad, la contaminación por bacterias y, en cierto grado, los sabores, olores y el color. Cuando la turbiedad y la cantidad de bacterias son altas, la filtración rápida tiene ventajas incalculables sobre la filtración lenta, sobre todo en la facilidad y rapidez con las cuales un filtro rápido puede lavarse y ser puesto nuevamente en servicio o recibir un tratamiento químico especial.

Por las altas velocidades de filtración, el costo inicial de construcción de un filtro rápido es bajo en comparación con el de un filtro lento para la misma capacidad. Durante cortos períodos, la velocidad de filtración puede aumentarse en forma substancial para hacer frente a las fluctuaciones de la demanda de agua sin perjudicar la calidad del efluente.

El tratamiento preliminar por coagulación y sedimentación debe incluirse como parte de cualquier instalación de filtros de arena de acción rápida. Además, el tratamiento preliminar puede incluir la aplicación de cloro, ya sea antes de otro tratamiento (precloración) o inmediatamente antes de la filtración después de otro tratamiento (poscloración). En estos casos el cloro puede agregarse para mejorar la coagulación, para quitar sabores y olores, o para conservar limpios los filtros, pero también da por resultado la desinfección. Cuando la dosis de cloro es bastante alta, un residuo de cloro quedará en el efluente del filtro. Este residuo es generalmente suficiente para que el agua cumpla las normas bacterianas normales, pero la cloración después de la filtración se practica universalmente como medida adicional de seguridad al abastecimiento de agua.

#### 4.6 FILTROS DE GRAVEDAD

Estos filtros pueden ser rectangulares o circulares y se construyen de madera, acero o concreto. En el fondo se encuentra un sistema de drenado inferior que recoge el agua filtrada y distribuye el agua para retrolavado. Sobre el bajo-dren se coloca una capa de piedra graduada, antracita o grava, y sobre ella de 24 a 36 pulgadas (61 a 97.4 cms) de medio filtrante. El conjunto se completa con válvulas dotadas de controladores para influente y efluente, las que mantienen un flujo uniforme de agua a través del aparato, con manómetros para medir pérdida de carga, con dispositivos para retrolavado y con canaletas para agua de lavado. El agua entra por la parte superior y pasa hacia abajo a través del lecho filtrante. El agua filtrada fluye por el sistema de drenado inferior y descarga de ahí al pozo de aguas claras o tanque de agua filtrada. Para la limpieza de la unidad, se detiene el proceso de filtración y se descarga agua filtrada hacia arriba por el sistema de drenado inferior a través del lecho. El material sólido colectado en la superficie del lecho se descarga a las canaletas de agua de lavado y de ahí al drenaje. En algunas unidades se emplea aire para agitar el medio filtrante. Se emplea generalmente para agitación sin aire agua de lavado a alta velocidad (15 a 30 gpm de agua por pie cuadrado de área filtrante). Con frecuencia se suministra un lavado superficial a los lechos, en adición al flujo ascendente de agua de lavado. Cuando la cantidad de agua de lavado disponible es insuficiente para lavar todo el lecho, éste puede lavarse por secciones. El lavado seccional de lechos no se emplea, excepto cuando el método normal no puede llevarse a cabo.

#### 4.7 FILTROS DE PRESIÓN

En los filtros a presión el material filtrante está contenido en un tanque cerrado y el agua es forzada a través del lecho filtrante bajo una presión relativamente alta. Este tipo de filtración ha encontrado demanda en la industria, especialmente para el tratamiento de agua para alimentación de calderas, ya que este equipo puede instalarse en línea a presión eliminando un bombeo adicional.

Estas unidades se construyen en dos formas: verticales y horizontales. La primera es adaptable primordialmente a la filtración de pequeñas cantidades de agua y la última cuando se requieren volúmenes mayores. En algunas instalaciones, un

compartimiento del cuerpo del filtro se utiliza como cámara de sedimentación. Esta disposición tiene escaso valor, ya que el tiempo de retención del agua es tan corto que sólo permite remover una pequeña cantidad de sólidos suspendidos. Para el tratamiento de aguas lodosas se requieren tanques de sedimentación separados, los cuales deberán ser usados cuando el agua contiene grandes cantidades de materia en suspensión.

En la operación de la mayoría de los filtros a presión, el agua entra por la parte superior de la unidad y se distribuye mediante un canal o tubo perforado y se filtra al descender a través del medio filtrante. El agua filtrada es recogida por el sistema de drenaje inferior y se descarga a través de un tubo múltiple principal. Los drenados inferiores son prácticamente iguales a los usados en unidades de gravedad. Cuando se emplea un coagulante, éste se añade al agua cruda en algún punto anterior al filtro.

El espesor y graduación de los lechos de grava y arena u otros medios filtrantes, varía de acuerdo con los diferentes fabricantes. Espesores de grava de 8 a 20 pulgadas (20.3 a 50.8 cms) y lechos de arena de 18 a 30 pulgadas (45.7 a 74.2 cms) o más, se emplean comúnmente. La mayoría de los filtros a presión se retrolavan pasando el agua hacia arriba a través del filtro a flujos de 7.5 a 15 gpm por pie cuadrado de área filtrante (30.6 a 611.2 l/min/m<sup>2</sup>). En el pasado, la agitación mecánica del medio filtrante no se usó generalmente en filtros a presión. En la actualidad, muchas unidades se diseñan con dispositivos adicionales para remover acumulaciones en la superficie. Se emplean con alguna frecuencia aire comprimido y rastras operadas mecánicamente.

Los filtros verticales a presión varían en tamaño de 12 a 120 pulgadas (30.48 a 304.8 cms) de diámetro, y los filtros horizontales van de 6 a 8 pies (182.8 a 243.9 cms) de diámetro y de 8 a 25 pies (2.44 a 7.62 mts) de longitud. Los tanques se diseñan para soportar las presiones de acuerdo con la presión correspondiente al suministro de agua. Es práctica común diseñar el equipo normal para soportar presiones de trabajo de 65 a 100 psi.

Los filtros horizontales no son tan satisfactorios como los verticales, debido a la tendencia del lecho inferior de grava a tomar ondulaciones en forma de valles y colinas sobre la grava o piedra sobre la que descansa el medio filtrante. Cuando ocurren estas fallas, se obtiene una deficiente filtración.

#### 4.8 DISEÑO DE FILTROS

Las dimensiones de los filtros y de sus accesorios dependen de: la calidad de agua entrante; tipo de filtro; carga del proceso e hidráulica; método e intensidad de limpieza, tamaño y profundidad de los materiales filtrantes y de la calidad prescrita para el agua producida. De algunos filtros sólo se desea que sean unidades de acabado que separen los flóculos residuales de un agua bien coagulada y bien sedimentada. Tales filtros pueden ser unidades de una profundidad relativamente pequeña, de grano grueso y velocidad elevada que produzcan un efluente claro, susceptible a la desinfección en forma fácil y segura. Los filtros primarios, llamados así porque sólo preparan el agua para una filtración posterior, pueden ser también de este diseño. Se han colocado antes de los filtros lentos de arena y han sido operados con o sin coagulación. Pero los demás filtros se diseñan normalmente como unidades relativamente profundas, de grano fino y baja velocidad, ya que se destinan para: 1) ofrecer una barrera efectiva a los patógenos hídricos, 2) tratar agua que contiene mucho floculo ó 3) servir como unidades reaccionantes secundarias al agua, aplicada con un polielectrólito u otro coagulante.

Aún para aguas de una composición más o menos constante, no es todavía posible prescribir combinaciones únicas u optimizantes de profundidad del filtro, distribución de las capas del medio filtrante (tamaño, forma y densidad), y velocidades de filtración. Además, es poco probable que los diseñadores deseen fijar estrictamente las dimensiones de las unidades. La calidad del agua cruda tiene propensión a cambiar con el tiempo y las estaciones; los procesos preparatorios, con la productividad de la planta se elevarán paralelamente. En esta forma, la flexibilidad interconstruida se convierte en un requisito esencial de diseño.

Los objetivos en el comportamiento que se deben reconciliar son: la pérdida de carga terminal, las normas de calidad del efluente y la duración del ciclo de filtro. Conforme aumenta el tamaño del grano, la pérdida de carga disminuye marcadamente en los niveles superiores, pero la turbidez del efluente aumenta en forma relativamente rápida. Al elevarse las velocidades de filtración, la pérdida de carga y la turbiedad suben con rapidez considerable en todos los niveles del filtro. En las unidades de

granos gruesos, los ciclos del filtro que terminan en una determinada pérdida de carga son relativamente más largos que en las unidades de grano fino, pero los ciclos que terminan en una turbiedad determinada, son relativamente cortos.

El diseño de los filtros rápidos modernos ha evolucionado paulatinamente a partir de prácticas de diseño que provienen en gran parte de los filtros lentos de arena. El uso de la arena como medio filtrante y la especificación de su tamaño y profundidad lo comprueban. Sin embargo en tiempos más recientes, las velocidades de filtración y los diámetros de grano aumentaron apreciablemente y se redujo la profundidad.

#### **4.8.1 Profundidad del lecho y materiales filtrantes.**

Para determinarse la profundidad o espesor de los lechos filtrantes y materiales filtrantes de filtros rápidos, deberá observarse lo siguiente:

1. La profundidad de los lechos de arena deberá encontrarse entre 60 y 70 cm, como medida estándar.
2. La calidad de los materiales filtrantes empleados en lechos múltiples, deberá ser tal que permita mantener suficiente filtración, facilidad de lavado y saneamiento adecuado.

El grado de turbiedad removida es grandemente influenciado por las propiedades físicas de los flóculos y la temperatura del agua, de esta manera, la profundidad exacta del lecho de filtración debe establecerse preferiblemente por comportamientos experimentales, empleando agua cruda cuyas condiciones concuerden con las del pretratamiento diseñado, y además, contemplen un rango de variaciones observadas en el agua en cuestión

De cualquier modo, en el caso tradicional de filtros rápidos, desde el punto de vista económico, considerando el período de filtración y el grado de turbiedad de entrada del agua a los lechos de arena, las profundidades se han encontrado al rededor de 60 y 70 cms.

La calidad de la arena de filtro deberá ser determinada tomando en cuenta los criterios que a continuación se enumeran:

1. La arena de filtro deberá ser dura y de calidad uniforme, conteniendo un alto porcentaje de cuarzo y libre de granos lisos o quebradizos, impurezas como polvo y tierra, etc. La apariencia externa de la arena ha sido especificada en consideración a la necesidad de resistencia de lavado y operación de filtración.
2. El diámetro efectivo de la arena debe estar comprendido en el rango de 0.45 a 0.7 mm.
3. El coeficiente de uniformidad de la arena debe ser de 1.70 o menor.

El coeficiente de uniformidad es el término empleado para designar la relación entre el tamaño del grano que tiene 60 % de la muestra más fina que él, al tamaño del grano que tiene 10 % más fino que él. Este coeficiente, para la arena natural, se encuentra dentro del rango de 1.5 a 3.0. Si la arena a emplear está dentro de este rango, podrá ser empleada para filtración sin ninguna modificación.

4. El decrecimiento térmico de la arena durante la remoción, deberá ser menor a 0.7 %.
5. La arena deberá presentar una solubilidad con ácido clorhídrico por debajo del 3.5%.
6. La gravedad específica de la arena debe encontrarse al rededor de 2.6.
7. El diámetro máximo de la arena debe encontrarse por debajo de 2.0 mm, y el diámetro mínimo arriba de 0.3 mm.

#### **4.8.2 Sistemas de drenaje inferior.**

Los sistemas de drenaje inferior de los filtros rápidos efectúan dos funciones primordiales: 1) recogen el filtrado y lo conducen hacia el recipiente de aguas claras o puras y 2) distribuyen el agua de lavado al lecho durante las operaciones de limpieza. Debido a que la velocidad de lavado es muchas veces superior a la de la filtración, la hidráulica de los drenajes inferiores está gobernada por los requerimientos del flujo ascendente. Si éstos se cumplen, la distribución del flujo descendente será satisfactoria. Una función secundaria de los sistemas de drenaje inferior consiste en extraer y conducir de vez en cuando, las soluciones químicas agregadas a los lechos filtrantes para, 1) romper, aflojar y remover las incrustaciones sobre los granos del

filtro y 2) romper las bolas de lodo que se forman y desarrollan cerca del plano de separación situado entre los granos de apoyo y los granos que filtran y se expanden.

Se emplean dos tipos de sistemas de drenaje inferior en los filtros rápidos: 1) redes de tuberías y 2) pisos filtrantes o falsos fondos.

#### 4.8.3 Redes de tuberías.

Entre sus formas más simples, las redes de tuberías comprenden una principal, llamada *múltiple*, y unas laterales perforadas. Por lo general, las perforaciones se barrenan en las laterales a lo largo de una hilera sencilla de orificios dirigidos verticalmente hacia abajo, o en dos hileras, como pares de orificios dirigidos verticalmente hacia abajo, o en dos hileras, como pares de orificios dirigidos hacia abajo a ángulos de 45° a cada lado de la vertical. Para protegerlas contra la corrosión, las redes de tuberías se recubren generalmente con cemento o materiales bitumásticos, formando una cubierta gruesa en su parte externa.

Debido a que los chorros se rompen cuando chocan contra el fondo del filtro o con la grava que rodea a la red, la pérdida de carga se iguala al total de la columna impulsora. Esto es importante. Si llega a ser suficientemente amplia, en relación con la pérdida total de carga del sistema, la pérdida en el orificio puede sobrepasar en magnitud a las otras pérdidas remanentes.

#### 4.8.4 Profundidad de lechos de grava y grava de filtros.

La profundidad del lecho de grava y la grava de filtros para filtración rápida debe cumplir con las siguientes condiciones:

1. La grava de filtros debe poseer generalmente una forma oval, los granos deben ser duros y puros, uniformes en cualidades y libres de impurezas, polvos finos, materia arcillosa, tierra, etc.
2. El tamaño del grano y la profundidad o espesor del lecho de grava debe determinarse en conformidad con la estructura completa de la columna de filtración.
3. El lecho de grava debe ser orientado de tal manera que los granos gruesos se dirijan hacia abajo y los finos, hacia arriba. No debe presentar irregularidades en el arreglo de la superficie.

El lecho de grava sirve de soporte al lecho del filtro, y presenta grandes ventajas en la operación de lavado, por su consistencia dura y la forma redonda de sus granos. Podrá ser orientado de manera semejante a la arena de filtro, con los granos gruesos en la parte inferior y los finos en la parte superior del lecho.

#### **4.8.5 Pisos de los filtros.**

Los pisos de los filtros, también denominados falsos fondos o pisos falsos, tienen como fin reemplazar a las redes de tubos y cumplir dos funciones: 1) Sostener el lecho filtrante, posiblemente sin piedra ni grava, en las capas de transición situadas bajo el lecho filtrante mismo, y 2) Crear una sola guía de agua, en forma de caja que constituya el emisor de agua de lavado y el colector de agua filtrada.

El piso, de acuerdo con su espesor, se encuentra perforado mediante tubos cortos u orificios de una dimensión tal que descarga una pérdida de carga controlante que origina una distribución uniforme del agua de lavado. Las aberturas deben ser relativamente pequeñas y estrechamente espaciadas, y sus chorros deben fraccionarse por medio de una descarga desde una boquilla efectiva o dentro de una profundidad adecuada de grava. En algunos diseños, se cuelan pirámides cuadradas invertidas en el fondo falso. Las esferas grandes y pequeñas colocadas dentro de éstas depresiones geométricas obligan a los chorros ascendentes a dispersarse. En otros diseños, una retícula de placas porosas se sostiene sobre pernos o vigas ancladas al piso real o al fondo de la caja del filtro.

#### **4.8.6 Intensificación del lavado.**

Los lechos fluidizados pueden agitarse, con objeto de intensificar la limpieza en sus granos, mediante tres mecanismos: lavado mecánico, limpieza con aire y lavado superficial. Sólo uno de los métodos, el lavado superficial, se ha incorporado durante algún tiempo en las plantas norteamericanas. En cambio, los ingenieros europeos continúan usando lavado por agitación con aire. Sin embargo, se han hecho nuevos diseños mediante la introducción de fuentes individualizadas de potencia. Estas fuentes pueden justificar un nuevo estudio porque, a diferencia del aire y del agua las



rastras y los dispositivos mecánicos relacionados con ellas no tratan de alcanzar su objetivo a través de la vías de menor resistencia.

Los chorros superficiales operan bajo presiones de 50 a 75 psig. Ellos agregan un equivalente de 3 a 5 pulgadas por minuto a la velocidad de lavado, que de otra manera, sólo sería suficiente para fluidificar al lecho. Los chorros deberán golpear en forma más o menos horizontal a la masa de arena en movimiento, a una altura cercana al borde inferior del alcance superior máximo del lecho expandido. Las boquillas necesarias se deben conectar a las redes fijas de tubos o a los brazos móviles de tubos.

Por lo general, la Velocidad de Lavado con Aire se encuentra entre 3 y 5 pies cúbicos por minuto por pie cuadrado del filtro. Normalmente, se mantiene este flujo de aire durante varios minutos antes de que el lecho se encuentre listo para la expansión hidráulica y para la remoción de los depósitos que se desprenden de los granos del filtro y que se liberan de los espacios de los poros durante el lavado. Por lo general, el aire se suministra desde una red de tubos colocada justamente sobre la línea de la grava, o bien desde canales o domos para el aire, incorporados para propósitos generales, a un sistema de drenajes inferiores de tubos perforados o al piso del filtro. Los elementos de diseño de la red de aire son casi los mismos que los de las redes de agua. En ambos casos, una pérdida de carga controlante aproximadamente igual al 75% de la carga total suministrada al sistema de lavado, generalmente obtendrá una economía en el diseño.

#### **4.8.7 Canaletas de lavado.**

Los canales que atraviesan los filtros y que reciben a las aguas residuales de lavado tienen el propósito de impedir que el agua establezca una pendiente significativa respecto a su superficie o también de imprimir una columna diferencial sobre el sistema de agua de lavado. El objetivo consiste en una velocidad uniforme de lavado sobre cada pulgada cuadrada de medio filtrante.

Hidráulicamente, las canaletas de lavado no son diferentes de las que sirven en los canales defluentes de los tanques de sedimentación ni de los vertederos laterales de las presas. Se puede basar una relación general entre la superficie de la curva del agua dentro de las canaletas del agua de lavado y las estructuras similares sobre el teorema

del momento, al efectuar las siguientes suposiciones simplificadoras: 1) La energía cinética del agua que cae al canal no contribuye a la velocidad longitudinal; 2) La fricción en el canal puede despreciarse, excepto en los canales que son muy largos; 3) El flujo es esencialmente horizontal, y 4) La curva de la superficie del agua se aproxima a una parábola. Por consiguiente, las fuerzas que cambian al momento se derivan solamente de las fuerzas desbalanceadas de presión estática.

En la práctica, el trayecto lateral del agua que se derrama a las canaletas se limita generalmente a un valor que oscila entre 2.5 y 3.5 pies (0.76 y 1.06 m); es decir, la distancia precisa entre las canaletas se mantiene entre 5 y 7 pies (1.52 y 2.12 m) con objeto de mantener la columna de agua sobre los drenes inferiores, y con ella la velocidad del lavado, casi uniforme.

La altura de las canaletas sobre el lecho de arena se determina por el grado de expansión de la arena. La canaleta se debe encontrar sobre la superficie de la arena expandida con objeto de no reducir la vía abierta a la mezcla de agua y arena, de aumentar su velocidad de ascenso y causar pérdida de arena.

#### **4.8.8 Dimensiones de los filtros y los conductos.**

Las dimensiones de las unidades filtrantes individuales en una planta de tamaño determinado se convierte en un asunto económico, una vez que su número se hace lo suficientemente grande para convertir en rutina las operaciones de limpieza y permitir las reparaciones ocasionales. Los factores esenciales son, particularmente, los costos del filtro mismo, sus paredes y accesorios.

Los análisis lagrangianos o de costos máximos y mínimos identificarán el final mediante diseños comparativos. Deben introducirse unidades gemelas para mantener el tamaño del sistema de agua de lavado dentro de límites útiles de trabajo.

Los filtros deben ser suficientemente grandes para dar margen a un tiempo fuera de servicio que se emplea para limpieza y reparación. Los filtros rápidos se sacan de operación por un lapso de unos diez minutos durante cada ciclo que, por lo general, es de un día.

El tiempo fuera de servicio está formado por: 1) el tiempo necesario para bajar el nivel del agua hasta la altura de la canaleta, ya sea por filtración bajo una columna decreciente, o por desecho del agua que se encuentra bajo las canaletas de lavado; 2) el tiempo requerido para fluidificar el lecho, el cual se alarga intencionalmente para permitir que los depósitos superficiales y la materia suspendida en las capas superiores se escape antes de que el lecho se encuentre totalmente expandido; 3) el tiempo de lavado que, según la experiencia es de unos dos minutos por pie de profundidad; 4) el tiempo requerido para que los granos más pequeños bajen a su lugar por sedimentación disturbada después de que se ha cortado la entrada de agua de lavado, y 5) el tiempo requerido para llenar de nuevo la caja del filtro hasta la línea de flujo. Además, se debe tener en cuenta la cantidad de agua filtrada consumida en el lavado de los lechos y para reparaciones ocasionales. Por lo general la profundidad de las unidades filtrantes, incluyendo una altura libre superior de un pie (30.48 cm), es diez pies (3.048m.)

#### **4.8.9 Accesorios de los filtros.**

Los accesorios de los filtros incluyen compuertas operadas manual, hidráulica, neumática o eléctricamente sobre las líneas de influente, efluente, drenado y agua de lavado; dispositivos de medición como medidores Venturi; controladores de velocidad actuados por un dispositivo medidor; indicadores de pérdida de carga y de velocidad de flujo; indicadores de expansión de la arena; controladores e indicadores del agua de lavado; mesas de operación y dispositivos para muestreo del agua; dispositivos para observar la calidad del agua; eyectores y lavadores de arena; y bombas y tanques para agua de lavado. Mientras mayor sea la planta y la velocidad de filtración, se justifica más la inclusión de dispositivos auxiliares mecánicos y automáticos. Los reguladores de flujo abren o cierran automáticamente el mecanismo de una válvula para mantener constante la velocidad de descarga. Las diferenciales de presión entre la garganta y la salida del Venturi se convierten en movimientos de la válvula por medio de un diafragma o pistón de compensación.

#### 4.8.10 Duración de los ciclos de los filtros.

Las impurezas que llegan al filtro desde el agua aplicada, junto con los agentes coagulantes y precipitantes, obstruyen sus poros y aumentan la pérdida de carga hidráulica. La rapidez de ascenso de la pérdida de carga depende del tamaño de la arena, la porosidad, la velocidad de filtración, así como de la cantidad y carácter de la materia suspendida en el agua aplicada. Los ciclos de los filtros se terminan cuando la pérdida de carga excede de un valor razonable o cuando la calidad del agua filtrada ya no cumple una norma razonable de claridad. Para las pérdidas de cargas terminales y la turbidez terminales comunes, la duración de los ciclos de los filtros se determina generalmente por el aumento de carga en las unidades de grano fino y por el aumento de turbiedad en las unidades de grano grueso. Cuando el factor gobernante es la pérdida de carga, la duración del ciclo generalmente varía en forma inversa al producto de la pérdida inicial de carga de la arena limpia y a la raíz cuadrada de la velocidad de filtración.

Generalmente, la pérdida de carga terminal se establece en un valor en el que el lecho y su sistema de drenaje inferior se encuentra bajo vacío parcial o carga negativa. Dentro del lecho, la carga se convierte en negativa cuando la pérdida de carga a través de la parte superior del lecho excede a la carga estática. Las variaciones en remoción de materia suspendida y el tamaño de granos del filtro pueden hacer que aparezcan cargas negativas en primer lugar en las profundidades intermedias. Hacia el final de su ciclo, el fondo de la mayor parte de los lechos se encuentra bajo un vacío parcial y comienza a desprenderse el aire suelto. A presión atmosférica y temperaturas normales, el agua puede mantener en solución alrededor de 3% de aire en volumen (principalmente oxígeno y nitrógeno). Debido a que la cantidad desprendida de solución es aproximadamente de  $100/34 = 3\%$  por pie (30.48 cm) de columna negativa, no transcurre mucho tiempo en llenar el espacio de poros del filtro o el volumen del sistema del drenado inferior. Entonces, el filtro queda obstruido por aire, las pérdidas de carga ascienden rápidamente y la capacidad de descarga del filtro disminuye con rapidez.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 MATERIALES :

La investigación se lleva a cabo haciendo uso de dos sistemas de filtración, ubicados en la planta de tratamiento de agua Santa Luisa, de la Empresa Municipal de Agua EMPAGUA, situada al oeste de la ciudad capital, en la Aldea Acatán. Su cota es 1,564.19 metros sobre el nivel del mar. Fue inaugurada en su primera etapa en 1,936 y llegan a ella las aguas de los ríos Acatán y el llamado Teocinte 36. (Ver anexo, página xli). Las características de diseño de ambos sistemas se describen a continuación:

#### SISTEMA DE FILTRACIÓN A PRESIÓN:

**TIPO:** Placa de acero

**ARREGLO:** Horizontal

#### COMPOSICIÓN:

Una batería de 10 unidades de filtración rápida con lecho filtrante de arena.

Diámetro: 2.50 metros

Longitud: 7.20 metros

Caudal: 2100 metros cúbicos/día/unidad

Una batería de 9 unidades de filtración rápida, 6 con lecho filtrante de antracita y 3 con lecho filtrante de arena.

Diámetro 2.50 metros

Longitud 5.70 metros

Caudal: 1500 metros cúbicos/día/unidad

**ESPESOR DE CAMA FILTRANTE:** 3/4 del diámetro

**CAUDAL GLOBAL:** 36 millones de litro de agua tratada/día

**SISTEMA DE FILTRACIÓN POR GRAVEDAD:**

**TIPO:** De concreto  
**ARREGLO:** Rectangular

**COMPOSICIÓN:**

Una batería de 6 unidades de filtración rápida

Lecho filtrante: Arena para filtración  
 600 milímetros de espesor  
 0.55-0.65 milímetros de diámetro efectivo

Área filtrante: 45 metros cuadrados/cama filtrante

Factor de equalización: 1.7 o menos

**CAUDAL DE FILTRACIÓN:** 150 metros cúbicos/metro cuadrado/día  
**CAUDAL DE RETROLAVADO:** 0.6 metros cúbicos/metro cuadrado/min  
**FLUJO DE AGUA DE RELLENO:** 11.7 metros cúbicos/min  
**CAUDAL GLOBAL:** 40 millones de litros de agua  
 tratada/día

Para la determinación de la concentración de contaminantes en el agua, se cuenta con las instalaciones y equipo tanto de la Planta Santa Luisa como del Laboratorio Biológico Industrial LABIND

**5.2 MÉTODOS:**

El estudio comparativo que permite la determinación del sistema de filtración para la potabilización de agua más adecuado a nuestras necesidades se divide en tres etapas:

**5.2.1 DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE COMPONENTES ANTES Y DESPUÉS DE LA FILTRACIÓN.**

La Filtración, definida como la operación de purificación de agua mediante la cual logra removerse gran cantidad de partículas disueltas en ella, requiere para su evaluación, la determinación cuantitativa de los componentes de dicha agua, y establecer si su paso por determinado sistema de filtración logra reducir hasta límites

aceptables la concentración de los componentes evaluados. Los componentes del agua seleccionados para el estudio, la razón de su elección y la metodología empleada en su determinación, se describen a continuación:

#### 5.2.1.a **TURBIEDAD.**

Se define como el efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través del agua que contiene pequeñas partículas en suspensión.

La causa de la turbiedad del agua de bebida es la presencia de partículas, que puede deberse a que el tratamiento ha sido insuficiente o a que el sedimento ha vuelto a quedar en suspensión en el sistema de distribución. En el caso de algunas agua subterráneas, puede deberse también a la presencia de partículas de materia inorgánica. Elevados niveles de turbiedad pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimular la proliferación de bacterias. Por lo tanto, cuando el agua ha de desinfectarse, la turbiedad debe ser baja.

La importancia de la evaluación de la turbiedad radica en que representa la presencia de componentes físicos y químicos tanto disueltos como suspendidos en el agua, por lo que al analizarla, se incluye la evaluación indirecta de una serie de parámetros tales como color, conductividad, sólidos totales y sales disueltas.

#### **Método de Determinación.**

##### **Principio del método.**

La nefelometría involucra la medición de la luz dispersa en una dirección específica, tal como a 90° del paso de la luz incidente. La medición se realiza haciendo pasar un fuerte rayo de luz a través de la muestra. Las partículas finas que constituyen la turbiedad dispersan una porción del rayo de luz. La luz dispersada en ángulos rectos llega a un sensor y es convertida en un impulso eléctrico que activa el medidor.

La intensidad de luz que da sobre el sensor es proporcional a la turbiedad.

La sensibilidad del turbidímetro basado en principios de nefelometría permite medir con precisión diferencias de turbiedad de 0.02 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbiedad). El instrumento debe medir de 0 a 40 UNT.

Diferencias en el diseño físico de los turbidímetros pueden causar diferencias en la medición de valores para la turbiedad. Para minimizar tales diferencias, deben observarse los siguientes criterios:

- Fuente de luz: una lámpara de tungsteno operada entre 85% y 100% en proporción al voltaje.
- La distancia atravesada por la luz incidente y dispersada dentro del tubo de muestra en total no debe exceder de 10 cm.
- El ángulo de la luz aceptada por el sensor debe estar centrada a 90° hacia el paso de la luz incidente y no excederse de 30 a 90°.
- La turbiedad máxima debe ser media, a 40 UNT.

**Procedimiento:**

Para la calibración del turbidímetro se siguen las instrucciones consignadas en el manual de operaciones del fabricante. En ausencia de una escala previamente calibrada, se deben preparar curvas de calibración para cada rango que se indique en el instrumento.

Para mediciones de turbiedad de menos de 40 UNT se agita la muestra perfectamente. Se espera que las burbujas de aire desaparezcan y se coloca la muestra en un tubo del turbidímetro. Se lee la turbiedad directamente en la escala del instrumento o de la curva de calibración.

Para mediciones de turbiedad arriba de 40 UNT se diluye la muestra con uno o más volúmenes de agua libre de turbiedad, hasta que la turbiedad este entre 30y 40 UNT.

**Expresión de resultados.**

Para calcular la turbiedad de la muestra original diluida, deberá multiplicarse el resultado obtenido por el factor de dilución.

$$\text{UNT} = [A \times (B + C)]/C$$

Donde:

A = UNT encontradas en el agua de la muestra

B = volumen del agua de dilución en cm<sup>3</sup>.

C = volumen de la muestra tomada para la dilución en cm<sup>3</sup>.



## 5.2.1.b PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.

5.2.1.b.1 **RECuento AERÓBICO TOTAL.** Representa El número total de microorganismos presentes por centímetro cúbico de agua. La forma en que se reporta es UFC/cm<sup>3</sup> (unidades formadoras de colonias por centímetro cúbico de muestra). Dicho recuento involucra la presencia de bacilos, sarcinas y otros microorganismos no necesariamente patógenos presentes en el agua.

### **Método de determinación.**

Para la determinación del recuento aeróbico total se preparan previamente dos cajas de petri completamente estériles. En la primera caja se deposita 1 cm<sup>3</sup> de muestra y se rotula apropiadamente; en la segunda caja se deposita 0.1 cm<sup>3</sup> y también se identifica como corresponde.

A cada caja de petri se adicionan 16 cm<sup>3</sup> aproximadamente de Agar Nutritivo, se mezcla uniformemente la muestra en el medio de agar y se deja solidificar. Se incuban a 36 °C durante 48 horas.

### **Lectura y reporte de resultados.**

Empleando un contador Quebec, en base a la suposición que cada célula microbiana presente en la muestra, al mezclarse con el medio, formará una unidad o colonia independiente y separada, se procede a contar el número de unidades observadas en la caja. Para la caja en la que se deposita 1 cm<sup>3</sup> de muestra, el conteo es directo, cada unidad representa una colonia. Cuando el número de colonias es difícil de contar por su exesividad, se emplea la segunda caja, la cual presenta un número de unidades o colonias multiplicadas por el factor de dilución de "1/0.1", lo que dará el número exacto de UFC/cm<sup>3</sup>. Adicionalmente, si se practican otras diluciones, el factor general será: "1/cm<sup>3</sup> de muestra depositados en la caja".

5.2.1.b.2 **COLIFORMES TOTALES.** El grupo coliforme incluye a todas las bacterias en forma de bacilo aerobias ó anaerobias facultativas, gram-negativas, no esporógenas, que fermentan la lactosa con formación de gas, dentro de las 48 horas a una temperatura de 35°C.

**Método de determinación.****Método de los tubos múltiples de fermentación.**

Este método se basa, en la ausencia de gas después de 24 a 48 horas de incubación a 35°C. La ausencia de gas después de 48 horas es prueba de que no existen bacterias coliformes en la muestra examinada, porque una de las propiedades de este grupo bacteriano es la producción de gas en la fermentación de la lactosa.

Los resultados de las pruebas del grupo coliforme, por el procedimiento de los tubos múltiples de fermentación se expresan mediante el índice del "número más probable" (NMP), se considera que este índice es el número de bacterias coliformes que tiene mayor probabilidad sobre cualquier otro número, de conducir a los resultados obtenidos en los exámenes de laboratorio.

**Prueba presuntiva.**

Se inocula una serie de tubos de fermentación que contengan caldo lactosado o laurilactosa, con cantidades apropiadas a la muestra (o diluciones); se mezcla con cuidado, se incuba los tubos inoculados a 35°C.

Se examina cada tubo a las 24 horas, se agita suavemente cada tubo y se observa la formación de pequeñas burbujas de gas y/o desplazamiento del medio dentro del tubo de hemólisis. Los tubos que presenten formación de gas se consideran positivos. Los tubos negativos se reincuban otras 24 horas.

La formación de gas dentro de 48 horas constituye una prueba presuntiva positiva y nos da un indicio de la presencia de coliformes. La ausencia de gas al final de 48 horas indicará una prueba negativa; es decir, la ausencia de coliformes, y por lo tanto el examen quedará concluido.

**Prueba confirmativa.**

Los tubos positivos de la prueba presuntiva se resiembran con un asa de siembra en tubos de fermentación que contengan caldo EC o verde brillante y se incuban a 35°C.

Se examina cada tubo a las 24 horas. Los tubos que presenten formación de gas se consideran positivos; los negativos se reincuban otras 24 horas.

La formación de gas dentro de 48 horas constituye una prueba confirmativa de coliformes. La ausencia de gas al final de las 48 horas nos indicará la ausencia del grupo coliforme.

**Expresión de resultados.**

Los resultados se reportan como número más probable de coliformes totales en 100 cm<sup>3</sup> de muestra. Para la determinación del NMP/100 cm<sup>3</sup> en una muestra de agua deberá emplearse las tablas establecidas en la Norma COGUANOR NGO 29 002 h20.

**5.2.1.b.3 COLIFORMES FECALES.** La prueba para la investigación del grupo coliforme fecal se basa en sus características de bacteria, en forma de bacilo corto no esporulado, gram negativo capaz de fermentar la lactosa con producción de gas a 35°C y a 44.5°C en menos de 24 horas.

**Procedimiento.**

El procedimiento consiste en dos pruebas normales que son la presuntiva y la confirmativa.

**Prueba presuntiva.**

Para la realización de esta prueba se sigue el mismo procedimiento que se establece en la prueba presuntiva de la determinación de coliformes totales descrita anteriormente.

**Prueba confirmativa.**

De los tubos positivos de la prueba presuntiva se transfiere parte del material a los tubos de fermentación conteniendo medio EC por medio de un asa de 3 mm y se procede a incubarlos a 44.5°C en un baño de agua.

Se examina cada tubo a las 24 horas. Los tubos que presentan formación de gas se consideran positivos y los tubos que muestren ausencia de gas al finalizar el período antes mencionado se consideran negativos, indicando la ausencia del grupo coliforme fecal (*Escherichia coli*, principalmente).

### **Expresión de Resultados.**

Los resultados se expresan como el número más probable (NMP) de coliformes fecales por 100 cm<sup>3</sup> de la muestra. (consultar los cuadros 2 y 3 de la Norma COGUANOR NGO 29 002 h20).

Los métodos empleados en la determinación de los parámetros evaluados son los recomendados por el Método Estándar para agua y aguas de desecho de la Asociación Americana de Salud Pública (APHA), la Asociación Americana de trabajadores del Agua (AWWA) y el Control Federal de la Polución del Agua (WPCF), en su manual de métodos patrón (Standard Methods), en su decimoséptima edición, el cual tiene correspondencia con las normas COGUANOR NGO 29002, h1, h19, h20 y h21.

Después de llevarse un registro del comportamiento de todos los parámetros descritos anteriormente, antes y después de filtración para los dos sistemas en estudio, durante un período de dos meses de funcionamiento, se procedió a obtener el porcentaje de remoción de cada parámetro, empleando la siguiente relación:

$$\frac{(\text{Concentración de entrada} - \text{Concentración de salida})}{\text{Concentración de entrada}} \times 100\%$$

### **5.2.2 ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO QUE SE HAN DESARROLLADO.**

Consiste en recabar toda la información disponible respecto a las medidas empleadas por los técnicos y operarios de la Planta, medidas que se efectúan con el fin de mantener en las mejores condiciones el funcionamiento de los sistemas de filtración. Esta información incluye los datos siguientes:

**5.2.2.a           REGISTRO DE PERÍODOS DE FILTRACIÓN PARA CADA SISTEMA.**

El procedimiento consiste en evaluar una sola unidad de cada sistema, seleccionada al azar, durante cuarenta y ocho horas de operación en época de verano, y treinta y seis en época de invierno, determinando cada dos horas el porcentaje de remoción de turbiedad alcanzado por cada unidad.

Este procedimiento se lleva a cabo tanto para períodos en los que el agua ingresa a la planta de tratamiento con turbiedades bajas (época de verano), como para aquellos en los que las turbiedades son altas (época de invierno), debido a que la duración de los períodos de filtración varía considerablemente en función del grado de turbiedad que el agua presenta al ingresar al sistema de filtración.

**5.2.2.b           REGISTRO DE PERÍODOS DE LAVADO.**

Esta información comprende la duración, expresada en minutos, de la operación de lavado de las unidades de filtración de los dos sistemas evaluados. Tales datos son generados mediante la medición del tiempo necesario para remover de una unidad determinada las impurezas acumuladas en el lecho filtrante hasta obtener que el agua de lavado no presente turbiedad.

## 6. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente estudio aparecen en los cuadros y gráficas localizados en la sección de anexo y que a continuación se enumeran:

### 6.1 Cuadros y gráficas de remoción de turbiedad.

Cuadro No.01

Turbiedades de entrada y salida al sistema de filtración por presión durante marzo y abril de 1997 y sus correspondientes porcentajes de remoción.

Cuadro No.02

Turbiedades de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad durante mayo y junio de 1997 y sus correspondientes porcentajes de remoción.

Gráfica No.01

Turbiedades de entrada y salida al sistema de filtración por presión.

Gráfica No.02

Turbiedades de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad

Gráfica No.03

Porcentajes de remoción de turbiedad para el sistema de filtración por presión.

Gráfica No.04

Porcentajes de remoción de turbiedad para el sistema de filtración por gravedad.

Gráfica No.05

Análisis comparativo de los porcentajes de remoción de turbiedad alcanzados por los sistemas evaluados.

### 6.2 Cuadros y Gráficas de reducción de los parámetros microbiológicos.

Cuadro No.03

Recuento aeróbico total, coliformes totales y coliformes fecales de entrada y salida al sistema de filtración por presión durante marzo y abril de 1997 y sus correspondientes porcentajes de remoción.

Cuadro No.04

Recuento aeróbico total, coliformes totales y coliformes fecales de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad durante mayo y junio de 1997 y sus correspondientes porcentajes de remoción.

Gráfica No.06

Recuento aeróbico total de entrada y salida al sistema de filtración por presión en marzo de 1997.

Gráfica No.07

Recuento aeróbico total de entrada y salida al sistema de filtración por presión en abril de 1997.

Gráfica No.08

Recuento aeróbico total de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad en mayo de 1997.

Gráfica No.09

Recuento aeróbico total de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad en junio de 1997.

Gráfica No.10

Coliformes totales de entrada y salida al sistema de filtración por presión en marzo de 1997.

Gráfica No.11

Coliformes totales de entrada y salida al sistema de filtración por presión en abril de 1997.

Gráfica No.12

Coliformes totales de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad en mayo de 1997.

Gráfica No.13

Coliformes totales de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad en junio de 1997.

Gráfica No.14

Coliformes fecales de entrada y salida al sistema de filtración por presión en marzo de 1997.

Gráfica No.15

Coliformes fecales de entrada y salida al sistema de filtración por presión en abril de 1997.

Gráfica No.16

Coliformes fecales de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad en mayo de 1997.

Gráfica No.17

Coliformes fecales de entrada y salida al sistema de filtración por gravedad en junio de 1997.

Gráfica No.18

Porcentajes de reducción de recuento aeróbico total mediante los sistemas estudiados.

Gráfica No.19

Porcentajes de reducción de coliformes totales mediante los sistemas estudiados.

Gráfica No.20

Porcentajes de reducción de coliformes fecales mediante los sistemas estudiados.

### 6.3 Cuadros y gráficas de períodos de filtración de los sistemas evaluados.

Cuadro No.05

Duración de los períodos de filtración para unidades de los dos sistemas estudiados con turbiedades de entrada bajas (época de verano).

Cuadro No.06

Duración de los períodos de filtración para unidades de los dos sistemas estudiados con turbiedades de entrada altas (época de invierno).

Gráfica No.21

Duración de períodos de filtración para turbiedades bajas.

Gráfica No.22

Duración de períodos de filtración para turbiedades altas.



#### 6.4 Cuadros y gráficas de períodos de lavado de los sistemas evaluados.

Cuadro No.07

Duración de períodos de lavado para unidades del sistema de filtración por presión en abril de 1997.

Cuadro No.08

Duración de períodos de lavado para unidades del sistema de filtración por gravedad en mayo de 1997.

Gráfica No.23

Duración de períodos de lavado de diversas unidades de los sistemas estudiados.

## 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 7.1 ANÁLISIS DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD.

Los cuadros No.01 y No.02 permiten establecer el comportamiento de los dos sistemas de filtración estudiados en relación al grado de remoción de turbiedad alcanzado por cada uno. Asimismo especifican los porcentajes de remoción obtenidos. Tales datos fueron empleados para la elaboración de las gráficas No.01, 02, 03, 04 y 05, de las cuales se infiere lo siguiente:

La gráfica No.01 que representa las turbiedades de entrada y salida del agua al atravesar el sistema de filtración por presión, permite observar claramente que la turbiedad del agua al ser filtrada logra reducirse únicamente en mínima parte; mientras que en la gráfica No.02, donde se representan las turbiedades de entrada y salida del agua para el sistema por gravedad, la concentración de la turbiedad a la salida es mínima en relación a la que ingresa al sistema.

La gráfica No.03 permite visualizar de una manera clara que los porcentajes de remoción de turbiedad mediante el sistema por presión oscilan entre el 25 y el 67 %.

La gráfica No.04 presenta los porcentajes de remoción de turbiedad alcanzados por el sistema de gravedad donde se observa que se encuentran entre el 62 y 97 %.

Un análisis comparativo de los porcentajes de remoción obtenidos por los dos sistemas es el que presenta la gráfica No.05 en la que claramente se observa que el sistema de filtración por gravedad logra una remoción mucho mayor.

Todos los cuadros y gráficas analizados permiten establecer que el sistema de filtración con mayor eficiencia en relación a la remoción de contaminantes en el agua es el *sistema por gravedad*, información que concuerda con la hipótesis planteada al inicio de la presente investigación.

## 7.2 ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS.

La información tabulada en los cuadros No.03 y No.04 que representa el comportamiento de los parámetros microbiológicos analizados, fue la utilizada en la construcción de los gráficos No.06 al No.17; en ellos se aprecia el grado de remoción de recuento aeróbico total, coliformes totales y coliformes fecales durante la operación de filtración para los dos sistemas estudiados.

El comportamiento de cada uno de los sistemas de filtración es semejante en cuanto a la remoción de los tres parámetros evaluados, y permite establecer que es el sistema de filtración por gravedad el que logra un mayor grado de remoción.

Las gráficas No.18, 19 y 20 permiten visualizar claramente la diferencia en reducción de parámetros microbiológicos entre los dos sistemas de filtración. Se observa que el sistema por presión logra remociones entre el 38 y 40 %, mientras que el sistema por gravedad alcanza porcentajes de remoción entre el 70 y 73 %.

## 7.3 ANÁLISIS DE DURACIÓN DE LOS PERÍODOS DE FILTRACIÓN.

La información recabada para la evaluación de la duración de los ciclos de filtrado desarrollada por las diferentes unidades que conforman los sistemas fue tabulada en los cuadros No.05 y No.06. Los datos del cuadro No.05 fueron obtenidos bajo condiciones en las que las turbiedades del agua al ingresar a la planta fueron bajas, correspondiendo a la época de verano en las que la turbiedad rara vez alcanza valores por encima de 60 UNT. El cuadro No.06 fue construido en base a ciclos de filtrado obtenidos cuando el agua ingresa a la planta con turbiedades muy elevadas que sobrepasan las 1000 UNT, fenómeno que se observa durante las épocas de lluvia.

La información recabada se empleo para la elaboración de las gráficas No.21 y No.22. En el primero de estos gráficos se observa que para un período de cuarenta y ocho horas de operación, el sistema de filtración por gravedad redujo su capacidad de remoción de turbiedad de 90 a 68 %, mientras que el sistema por presión, en sólo

veinticuatro horas de operación redujo su capacidad de remoción de turbiedad de 70 a 38 %, y se necesita una operación de lavado para elevar nuevamente su capacidad de filtración. Este comportamiento es realmente significativo, ya que establece que el sistema de filtración por presión requiere el doble de mantenimiento que el sistema por gravedad, y además, sin alcanzar los niveles de remoción que logra este último.

Similar comportamiento se observa en la Gráfica No.22, con la variante de que los períodos de filtrado, correspondientes a la época de invierno, son menores a los obtenidos para la época de verano. En este caso el sistema por gravedad remueve eficientemente la turbiedad durante aproximadamente treinta y seis horas, mientras que el sistema por presión, en veinte horas ha reducido su nivel de remoción a un 26 %.

#### 7.4 ANÁLISIS DE DURACIÓN DE PERÍODOS DE LAVADO.

La evaluación del tiempo necesario para el lavado de las diferentes unidades de los sistemas de filtración se registró en los cuadros No.07 y No.08. El cuadro No.07 contiene los datos del tiempo requerido, en minutos, para la operación de lavado de diversas unidades del sistema por presión y que oscilan entre 30 y 140 minutos. El cuadro No.08 correspondiente al comportamiento de unidades del sistema por gravedad muestra que el tiempo requerido para el lavado de dichas unidades se encuentra entre 6 y 12 minutos.

La gráfica No.23 es la que representa la información tabulada en los cuadros descritos anteriormente. En dicha gráfica se aprecia que la diferencia en duración de períodos de lavado para los dos sistemas es muy marcada, de donde se establece que el sistema por gravedad representa mayor facilidad de operación y mantenimiento.

En forma general, el análisis de los resultados obtenidos revela que en todos los aspectos evaluados, es el sistema de filtración por gravedad el más eficiente.

Pudo establecerse, con la observación del funcionamiento de los dos sistemas de filtración durante los cuatro meses de estudio, que entre los factores de diseño que influyeron más significativamente en los resultados se encuentran:

**a) *Control visual de la operación:***

Una unidad de filtración por presión se encuentra completamente encerrada dentro de un tanque de acero, lo que hace imposible inspeccionar fácilmente la arena y la eficiencia de las operaciones de lavado. El operador queda incapacitado para observar la operación del filtro. La arena puede aglomerarse provocando que el lecho filtrante pierda su uniformidad, lo que constituye bajas en su eficiencia, sin que los encargados de mantenimiento se den cuenta.

El diseño de las unidades de filtración por gravedad, hace posible la continua observación de la arena filtrante, y poder así controlar tanto su nivel, uniformidad, y algo muy importante, permite observar toda la operación de lavado con el objeto de dejar cada unidad libre de la mayor cantidad posible de impurezas acumuladas en el lecho.

**b) *Arreglo de lecho filtrante:***

La forma cilíndrica de cada una de las unidades de filtración del sistema por presión permite que la capa inferior del lecho de arena tienda a tomar ondulaciones en forma de valles o colinas sobre la que se depositan las capas superiores de material filtrante. Cuando este fenómeno ocurre, se obtiene una deficiente filtración que provoca un bajo rendimiento en el porcentaje de remoción de contaminantes.

Este problema, en cambio, es muy difícil de observar en una unidad por gravedad, ya que el arreglo completamente horizontal de su lecho filtrante, reduce por completo la posibilidad de formación de altibajos en las diferentes capas de arena.

**c) *Sistema de drenaje inferior:***

El drenaje inferior tiene como función conducir el agua filtrada fuera de la unidad filtradora. El sistema por presión, debido a que no posee un tanque de almacenamiento de aguas filtradas, presenta en ciertas ocasiones el problema de que la arena es arrastrada fuera de la unidad filtradora, hacia las tuberías que conducen a los procesos finales de la planta, lo que provoca taponamiento de tuberías y daños considerables en bombas y otros equipos. El sistema por gravedad posee un tanque que permite acumular en su fondo la arena, en el caso de que escape de los filtros.

Por la forma de los filtros por presión, es difícil instalar tubos de evacuación del agua de lavado diseñados de tal manera que el material removido del agua caiga directamente en el desagüe y no sea devuelto a otras partes de la capa de arena.

**d) *Operación bajo presión:***

En el sistema de filtración por presión, como su nombre lo indica, el agua recorre el filtro bajo presión, lo que dificulta considerablemente la mezcla, coagulación y sedimentación efectiva del agua que se filtra, resultando de ello deficiencias en cuanto a una remoción adecuada de las partículas que provocan la turbiedad en el agua.

## CONCLUSIONES

1. Con base en la investigación realizada se establece que el diseño de sistemas de filtración por gravedad es más eficiente que el de los sistemas de filtración por presión para la potabilización de agua de abastecimiento municipal cuya turbiedad antes de ser filtrada se encuentra dentro del rango de 1.0 a 9.0 unidades nefelométricas de turbiedad.
2. El sistema de filtración por gravedad logra un porcentaje de remoción de turbiedad en el agua mayor al obtenido por el sistema por presión, lo que permite inferir una más alta eficiencia de operación para el sistema por gravedad.
3. Los porcentajes de remoción de recuento aeróbico total y bacterias del grupo coliforme total y fecal obtenidos por el sistema de filtración por presión promedian un 58 %, mientras que los alcanzados por el sistema de gravedad se encuentran alrededor del 72 %.
4. El sistema de filtración por gravedad presenta, en cuanto a duración de períodos de filtrado de sus diferentes unidades, un rendimiento que sobrepasa en un 50% el alcanzado por el sistema por presión.
5. En relación a los períodos de lavado, las unidades del sistema de filtración por presión, requieren un tiempo promedio equivalente a 8.03 veces del requerido por las unidades del sistema por gravedad; lo que representa menores costos y mayor facilidad de mantenimiento para el sistema por gravedad.

## RECOMENDACIONES

1. Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se recomienda la suspensión del sistema de filtración por presión en la Planta de Tratamiento Santa Luisa y utilizar únicamente el sistema de filtración por gravedad, puesto que este último presenta resultados más satisfactorios.
2. Es necesario intensificar el control en la operación de las unidades de los sistemas de filtración durante las épocas de invierno, donde la turbiedad del agua que ingresa a la planta se incrementa, provocando que los filtros se saturen rápidamente de impurezas.
3. Debe procurarse que el personal encargado del mantenimiento no solo de los sistemas de filtración, sino de toda la planta de tratamiento, adquieran mediante capacitaciones, toda la información sobre los procedimientos más adecuados a seguir para optimizar el funcionamiento de la planta.
4. Se recomienda que para los diferentes procesos de operación y mantenimiento del sistema de filtración por gravedad, objeto de estudio en el presente trabajo, se sigan los procedimientos descritos para el efecto y que se encuentran en la sección **anexo**. Tales procedimientos fueron establecidos tomando en consideración todas las variables que de alguna forma puedan afectar la operación de filtración y procurar obtener la mayor eficiencia en el proceso.
5. Es conveniente realizar estudios sobre la eficiencia de los sistemas de tratamiento de agua en las demás plantas existentes en nuestro medio para establecer si están cumpliendo con su función o necesitan de una reconstrucción que les permita operar satisfactoriamente.



## REFERENCIAS

1. American Water Work Association. **Agua, su calidad y tratamiento.** Tr. 2a edición en inglés por Jack M Woney. (México: Editorial UTEHA, 1,968) p.p. 265 - 298
2. Gordon.Geyer.Okun. **Purificación de agua y tratamiento y remoción de aguas residuales.** Volumen II. Tr. Ing. Salvador Ayanegui. (México: Editorial Limusa-Wiley, S.A.1,971) p.p. 245 - 271
3. NALCO. **Manual del Agua. Su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones.** Volumen I. Tr. Ing. Matilde Espinosa. (México: Editorial McGraw-Hill, 1,992) p.p. 9-19 - 9-24
4. Robert, Perry. **Manual del Ingeniero Químico.** Sexta edición (tercera edición en español). Volumen V. Tr. Fernando Corral. (México: Editorial McGraw-Hill, 1,993) p.p. 19-73 - 19-98
5. Sheppard, Powell. **Acondicionamiento de Aguas para la Industria.** Tr. Salvador Ayanegui. (México: Editorial Limusa-Wiley, 1,966) p.p. 75 - 108
6. Rand. Greenberg. Taras. **Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater.** Fourteenth edition. (Washington D C: APHA-AWWA-WPCF. 1,976) p.p. 326 - 1009.
7. Russell. Babcock. **Instrumentación y control en el Tratamiento de Aguas Potables, Industriales y de Desecho.** Tr. Hortensia Corona Rodriguez. (México: Editorial Limusa-Wiley, S.A., 1,982) p.p. 95 - 102

ANEXO 1  
CUADROS

## CUADRO No.01

ANÁLISIS DE TURBIEDAD  
SISTEMA DE FILTRACIÓN POR PRESIÓN  
MARZO Y ABRIL DE 1997.

Fecha	TURBIEDAD (UNT)		Porcentaje de remoción
	entrada	salida	
3/03/97	3	1,3	56,67
4/03/97	5	2	60,00
5/03/97	2	1	50,00
6/03/97	7	3,2	54,29
7/03/97	3	1,6	46,67
10/03/97	5	2	60,00
11/03/97	6	2,2	63,33
12/03/97	3	1,5	50,00
13/03/97	8	5	37,50
14/03/97	7	4,1	41,43
17/03/97	4	2,1	47,50
18/03/97	3	1,8	40,00
19/03/97	9	5	44,44
20/03/97	3	1	66,67
21/03/97	6	2	66,67
24/03/97	2	1	50,00
25/03/97	5	1,9	62,00
26/03/97	7	4,6	34,29
31/03/97	6	2,8	53,33
1/04/97	3	1,6	46,67
2/04/97	9	4,6	48,89
3/04/97	4	2	50,00
4/04/97	3	1	66,67
7/04/97	6	4	33,33
8/04/97	7	4	42,86
9/04/97	4	1,8	55,00
10/04/97	5,5	3	45,45
11/04/97	8	3	62,50
14/04/97	3	1,7	43,33
15/04/97	5	3	40,00
16/04/97	6	4	33,33
17/04/97	4	2,9	27,50
18/04/97	6,2	3,4	45,16
21/04/97	2,2	1	54,55
22/04/97	3	1,6	46,67
23/04/97	8	6	25,00
24/04/97	6,3	4	36,51
25/04/97	4,6	3	34,78
28/04/97	4	1,5	62,50
29/04/97	5	3	40,00
30/04/97	6,8	3	55,88

## CUADRO No.02

ANÁLISIS DE TURBIEDAD  
SISTEMA DE FILTRACIÓN POR GRAVEDAD  
MAYO Y JUNIO DE 1997.

Fecha	TURBIEDAD (UNT)		Porcentaje de remoción
	entrada	salida	
7/05/97	2	0,5	75,00
8/05/97	3	1	66,67
9/05/97	5	1,3	74,00
12/05/97	8	3	62,50
13/05/97	5	1,3	74,00
14/05/97	3	1	66,67
15/05/97	4	1	75,00
16/05/97	5	1,2	76,00
19/05/97	2	0,3	85,00
20/05/97	6	1,2	80,00
21/05/97	4	0,7	82,50
23/05/97	8	1,3	83,75
26/05/97	9	2	77,78
27/05/97	6	1	83,33
28/05/97	5	1	80,00
29/05/97	4	1	75,00
30/05/97	9	2	77,78
2/06/97	1	0,2	80,00
3/06/97	3	0,4	86,67
4/06/97	1	0,3	70,00
5/06/97	2	0,2	90,00
6/06/97	9	2	77,78
9/06/97	3	0,4	86,67
10/06/97	3	0,2	93,33
11/06/97	4	0,4	90,00
12/06/97	9	2	77,78
13/06/97	3	0,2	93,33
16/06/97	6	0,3	95,00
17/06/97	6	0,4	93,33
18/06/97	5	1,1	78,00
19/06/97	3	0,2	93,33
20/06/97	4	0,4	90,00
23/06/97	8	1	87,50
24/06/97	7	1,1	84,29
25/06/97	6	0,3	95,00
26/06/97	3	0,1	96,67
27/06/97	5	0,6	88,00

CUADRO No.03  
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS  
SISTEMA DE FILTRACIÓN POR PRESIÓN

MES DE MARZO DE 1997												
FECHA	Recuento aeróbico total UFC/cm3		Remoción		Coliformes totales NMP/100 cm3		Remoción		Coliformes fecales NMP/100 cm3		Remoción	
	Entrada	Salida	%		Entrada	Salida	%		Entrada	Salida	%	
4/03/97	430	120	72,09		53	20	62,26		9,4	3	68,09	
6/03/97	230	110	52,17		36	21	41,67		7,2	6	16,67	
11/03/97	750	480	36,00		75	39	48,00		12	9	25,00	
13/03/97	960	493	48,65		160	93	41,88		16	9,2	42,50	
18/03/97	1080	832	22,96		150	95	36,67		7,3	6,1	16,44	
21/03/97	820	690	15,85		210	120	42,86		11	6,1	44,55	
25/03/97	1033	604	41,53		120	75	37,50		13	6	53,85	
	% promedio		41,32		% promedio		44,40		% promedio		38,15	
MES DE ABRIL DE 1997												
FECHA	Recuento aeróbico total UFC/cm3		Remoción		Coliformes totales NMP/100 cm3		Remoción		Coliformes fecales NMP/100 cm3		Remoción	
	Entrada	Salida	%		Entrada	Salida	%		Entrada	Salida	%	
1/04/97	806	635	21,22		93	64	31,18		9,3	6	35,48	
3/04/97	223	96	56,95		23	9,1	60,43		9	6,1	32,22	
8/04/97	1960	1220	37,76		290	150	48,28		19	7,2	62,11	
10/04/97	790	614	22,28		120	75	37,50		9,4	9	4,26	
15/04/97	1530	1103	27,91		240	210	12,50		19	9	52,63	
17/04/97	368	298	19,02		75	53	29,33		6	3	50,00	
22/04/97	1250	702	43,84		290	160	44,83		6,1	3,6	40,98	
24/04/97	950	705	25,79		210	160	23,81		12	7,2	40,00	
29/04/97	1560	826	47,05		290	190	34,48		24	15	37,50	
31/04/97	2400	1400	41,67		240	150	37,50		9,2	6	34,76	
	% promedio		33,53		% promedio		35,82		% promedio		39,46	

CUADRO No.04  
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS  
SISTEMA DE FILTRACIÓN POR GRAVEDAD

MES DE MAYO DE 1997												
FECHA	Recuento aeróbico total UFC/cm3		Remoción		Coliformes totales NMP/100 cm3		Remoción		Coliformes fecales NMP/100 cm3		Remoción	
	Entrada	Salida	%	Salida	Entrada	Salida	%	Salida	Entrada	Salida	%	%
6/05/97	1950	523	73,18	39	160	39	75,63	6,1	12	6,1	49,17	
8/05/97	2570	609	76,30	120	460	120	73,91	7,2	26	7,2	72,31	
13/05/97	1180	240	79,66	15	120	15	87,50	3	12	3	75,00	
15/05/97	930	486	47,74	75	160	75	53,13	3	9,3	3	67,74	
20/05/97	2250	510	77,33	64	240	64	73,33	6	19	6	68,42	
22/05/97	890	56	93,71	9	75	9	88,00	3	21	3	85,71	
27/05/97	1546	326	78,91	23	95	23	75,79	3,6	9,3	3,6	61,29	
29/05/97	890	126	85,84	29	64	29	54,69	3,6	15	3,6	76,00	
	% promedio		76,59	% promedio		72,75	% promedio		72,75	% promedio		69,46
MES DE JUNIO DE 1997												
FECHA	Recuento aeróbico total UFC/cm3		Remoción		Coliformes totales NMP/100 cm3		Remoción		Coliformes fecales NMP/100 cm3		Remoción	
	Entrada	Salida	%	Salida	Entrada	Salida	%	Salida	Entrada	Salida	%	%
3/06/97	2500	406	83,76	75	350	75	78,57	7,3	19	7,3	61,58	
5/06/97	1322	289	78,14	43	160	43	73,13	3,6	9,4	3,6	61,70	
10/06/97	1960	580	70,41	44	210	44	79,05	3	13	3	76,92	
12/06/97	963	510	47,04	42	93	42	54,84	3	13	3	76,92	
17/06/97	1058	507	52,08	53	110	53	51,82	6,1	20	6,1	69,50	
19/06/97	790	196	75,19	19	64	19	70,31	3	9,3	3	67,74	
24/06/97	570	70	87,72	7,2	53	7,2	86,42	3	20	3	85,00	
26/06/97	818	220	73,11	16	75	16	78,67	6,2	16	6,2	61,25	
	% promedio		70,93	% promedio		71,60	% promedio		71,60	% promedio		70,08

**CUADRO No.05**  
**ANÁLISIS DE DURACIÓN DE PERÍODOS DE FILTRACIÓN**

**COMPORTAMIENTO PARA TURBIEDADES BAJAS**  
**ÉPOCA DE VERANO**

TIEMPO DE FILTRACIÓN (horas)	% de Remoción de turbiedad	
	Filtros de presión	Filtros de gravedad
2	70	90
4	66	88
6	64	88
8	60	86
10	59	85
12	56	83
14	50	83
16	50	81
18	45	80
20	42	78
22	37	78
24	35	76
26	72	75
28	65	75
30	60	75
32	52	74
34	50	73
36	46	73
38	46	73
40	45	73
42	40	72
44	39	70
46	38	68
48	38	68

**CUADRO NO.06**  
**ANÁLISIS DE DURACIÓN DE PERÍODOS DE FILTRACIÓN**  
**COMPORTAMIENTO PARA TURBIEDADES ALTAS**  
**ÉPOCA DE INVIERNO**

TIEMPO DE FILTRACIÓN (horas)	% de Remoción de turbiedad	
	Filtros de presión	Filtros de gravedad
2	73	93
4	70	93
6	65	91
8	54	91
10	50	91
12	47	88
14	41	87
16	35	86
18	32	86
20	26	86
22	70	83
24	66	82
26	60	80
28	52	76
30	48	76
32	45	72
34	37	70
36	32	70



**CUADRO No.07**  
**REGISTRO DE LOS PERÍODOS DE LAVADO**  
**SISTEMA DE FILTRACIÓN POR PRESIÓN**

FECHA	UNIDAD No.	TIEMPO DE LAVADO (min)
1/04/97	7	72
2/04/97	12	48
3/04/97	3	70
4/04/97	9	120
7/04/97	8	45
8/04/97	15	30
9/04/97	16	90
10/04/97	2	80
11/04/97	7	65
11/04/97	8	55
14/04/97	3	46
15/04/97	10	76
16/04/97	1	140
17/04/97	11	110
18/04/97	8	36
21/04/97	4	32
22/04/97	13	72
23/04/97	15	120
24/04/97	5	50
25/04/97	4	55
28/04/97	3	85
29/04/97	6	90
30/04/97	18	90

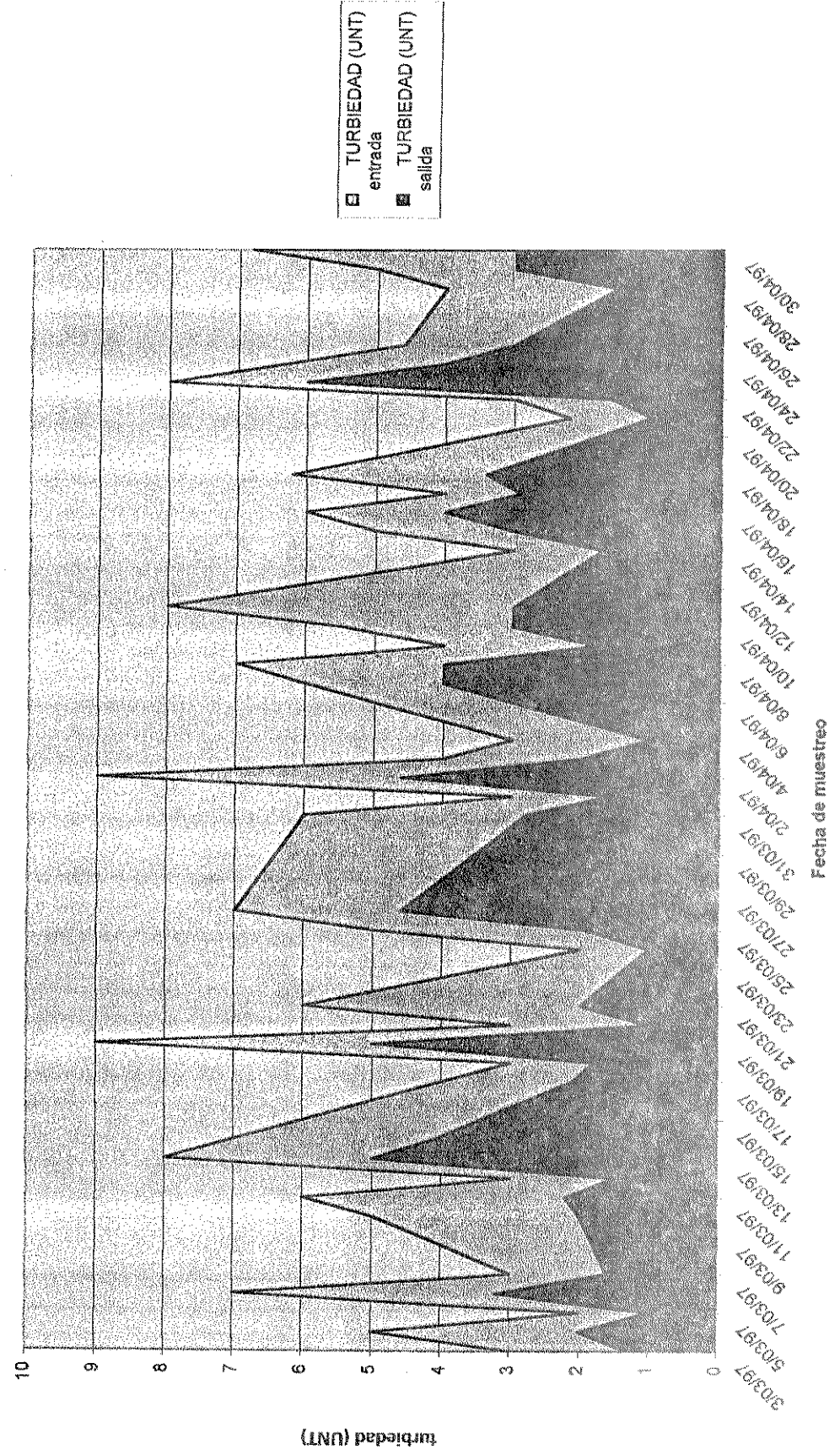
**CUADRO No.08**  
**REGISTRO DE LOS PERÍODOS DE LAVADO**  
**SISTEMA DE FILTRACIÓN POR GRAVEDAD**

FECHA	UNIDAD No.	TIEMPO DE LAVADO (min)
7/05/97	3	9
8/05/97	4	7
9/05/97	1	6,5
9/05/97	6	8
12/05/97	4	8
13/05/97	1	10
13/05/97	5	9
13/05/97	6	7
14/05/97	3	7
16/05/97	1	11,5
17/05/97	3	6
17/05/97	6	8
18/05/97	2	9
19/05/97	1	9,5
20/05/97	3	10
21/05/97	6	12
23/05/97	2	7
26/05/97	1	8,5
27/05/97	3	9
27/05/97	5	7,5
29/05/97	6	10
30/05/97	2	9,5
30/05/97	4	9

**ANEXO 2**  
**GRÁFICAS**

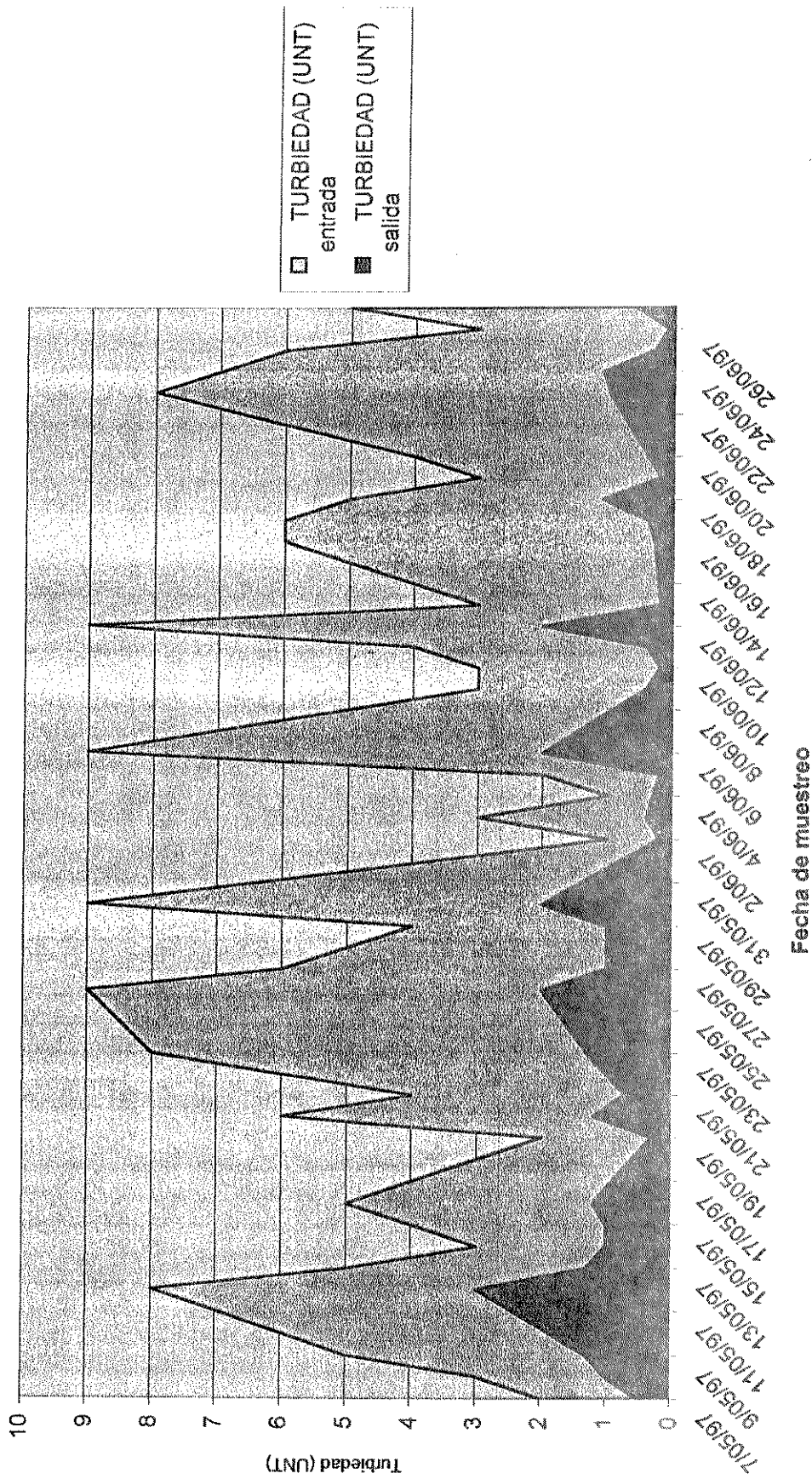
# GRÁFICA No.01

TURBIDADES DE ENTRADA Y SALIDA  
SISTEMA DE FILTRACIÓN POR PRESIÓN

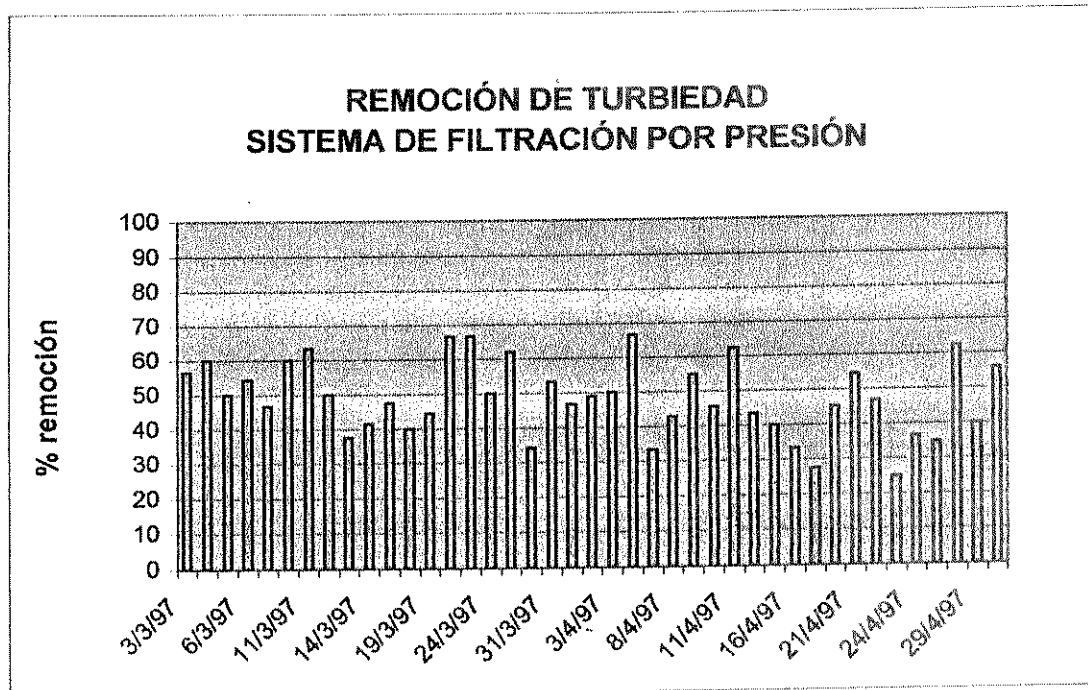


# GRÁFICA No. 02

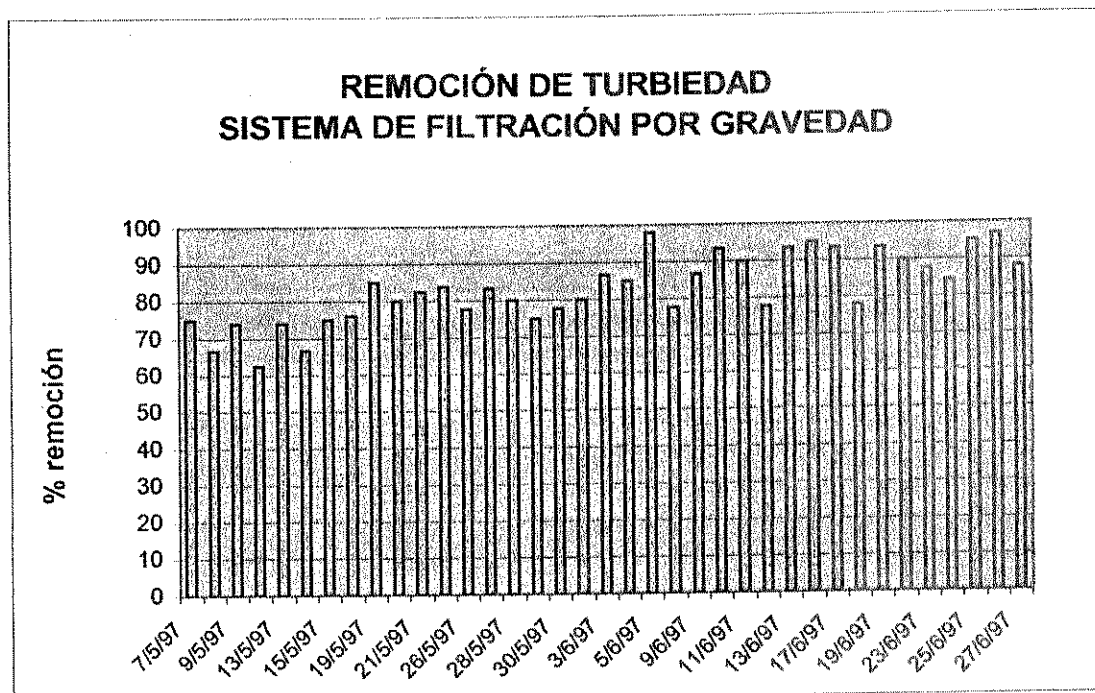
TURBIEDADES DE ENTRADA Y SALIDA  
SISTEMA DE FILTRACIÓN POR GRAVEDAD



## GRÁFICA No.03

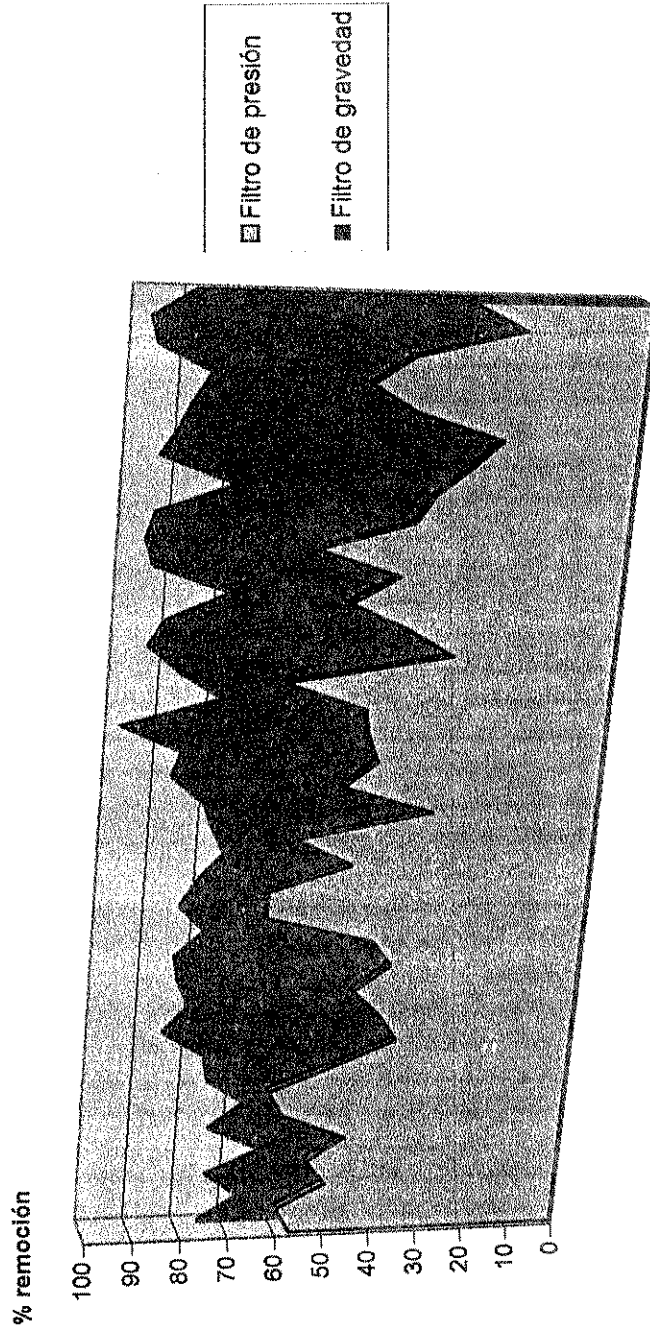


## GRÁFICA No.04



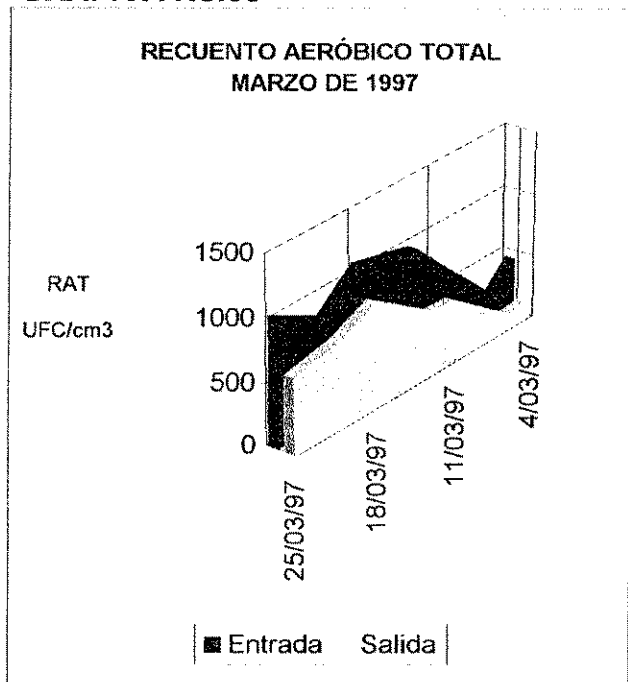
# GRÁFICA No.05

ANÁLISIS COMPARATIVO DE PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD DE LOS SISTEMAS EVALUADOS

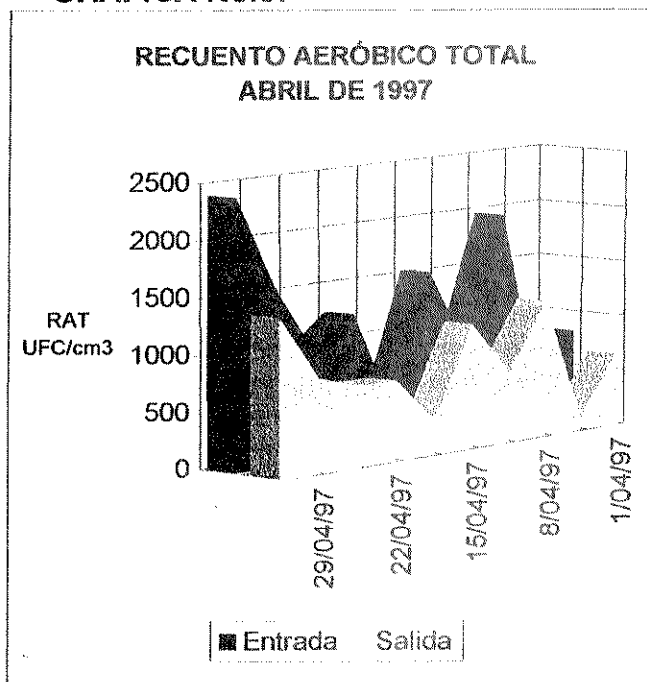


## SISTEMA DE FILTRACIÓN POR PRESIÓN

GRÁFICA No.06

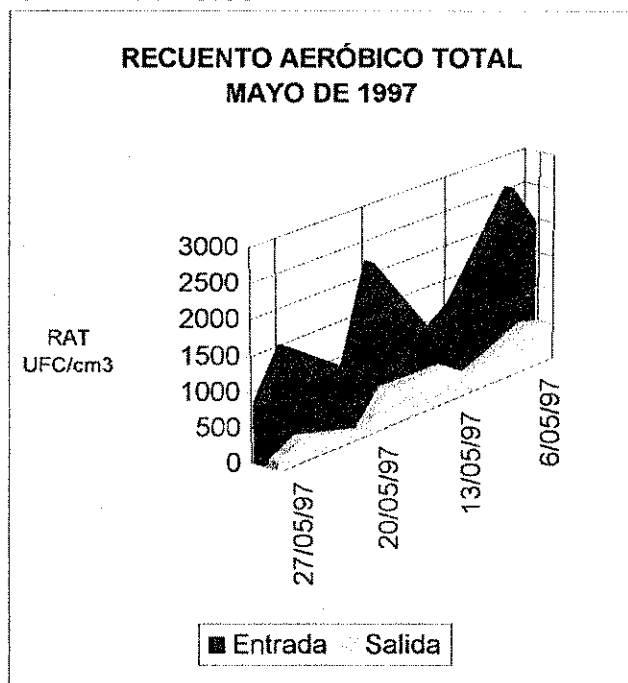


GRÁFICA No.07

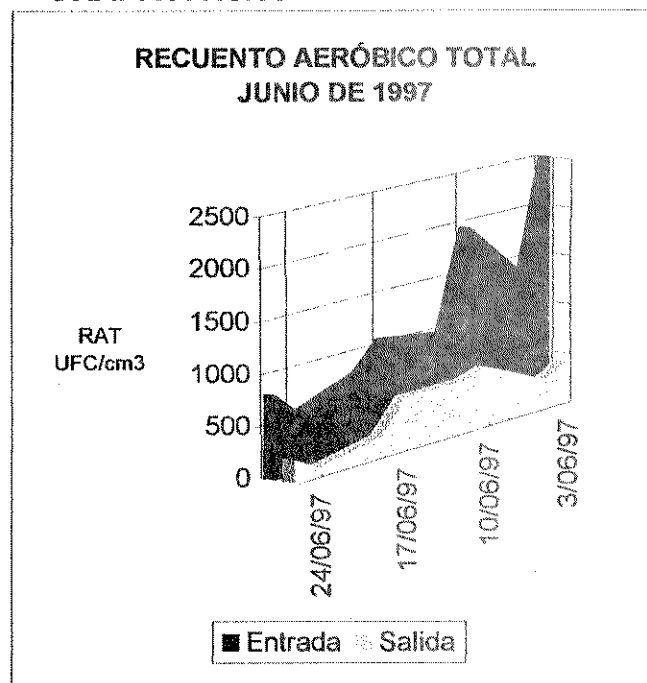


## SISTEMA DE FILTRACIÓN POR GRAVEDAD

GRÁFICA No.08



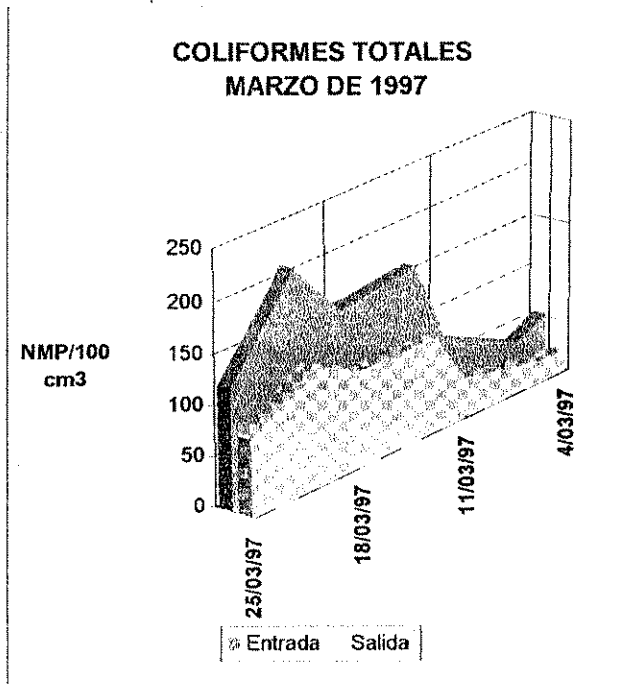
GRÁFICA No.09



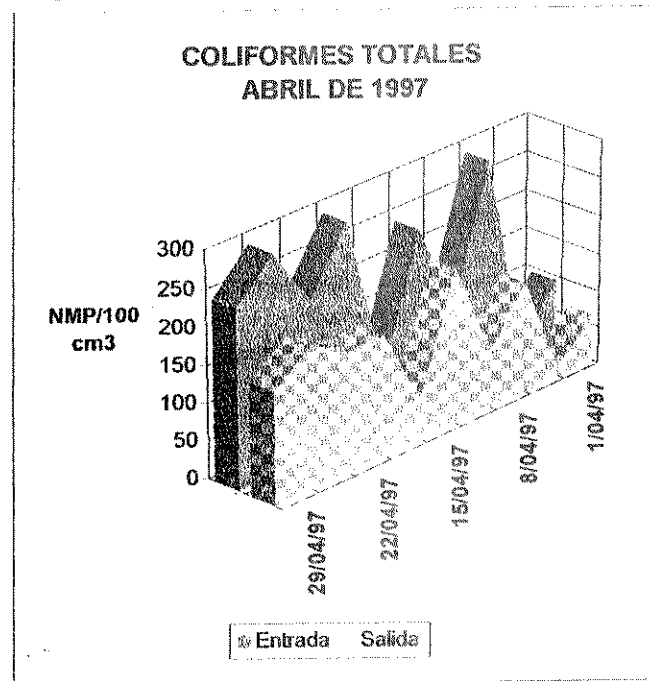


## SISTEMA DE FILTRACIÓN POR PRESIÓN

GRÁFICA No.10

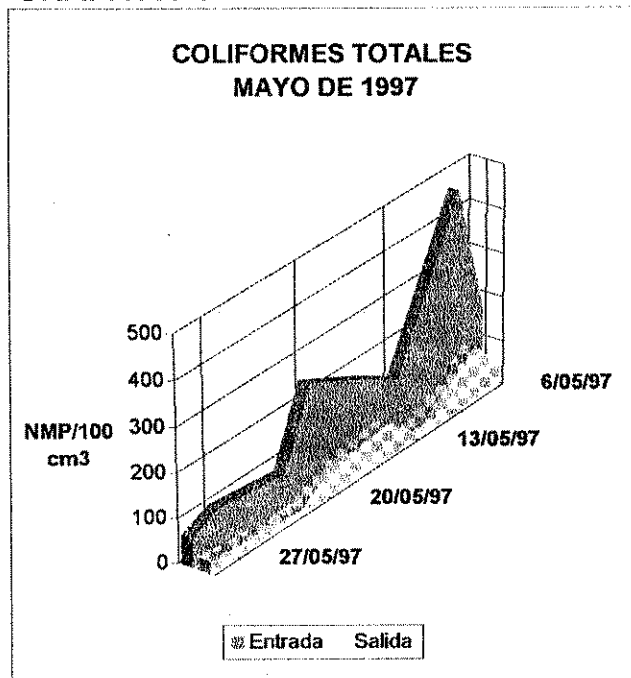


GRÁFICA No.11

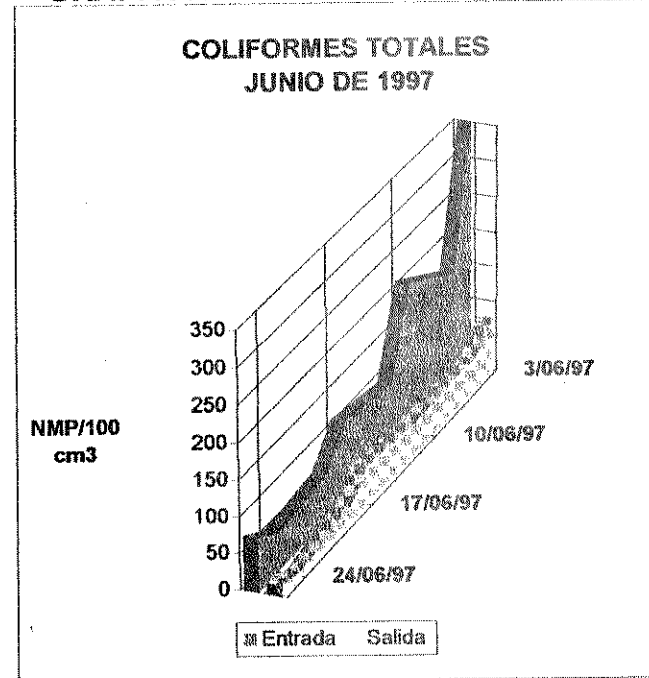


## SISTEMA DE FILTRACIÓN POR GRAVEDAD

GRÁFICA No.12

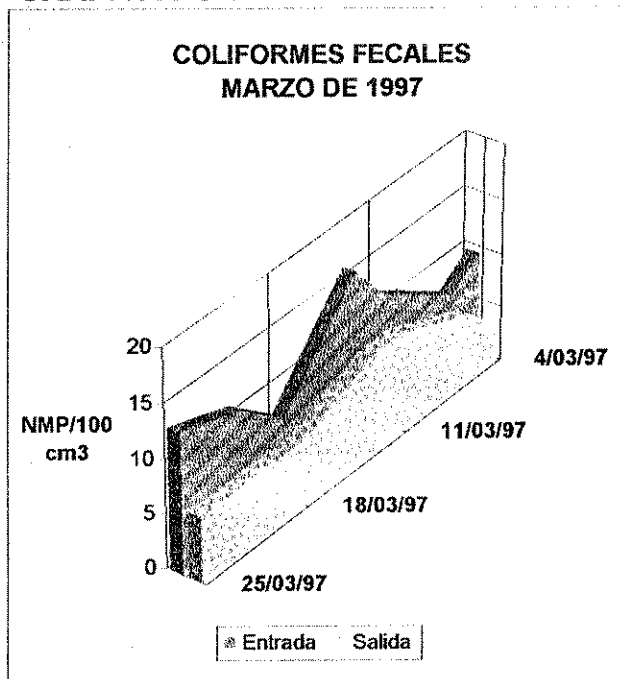


GRÁFICA No.13

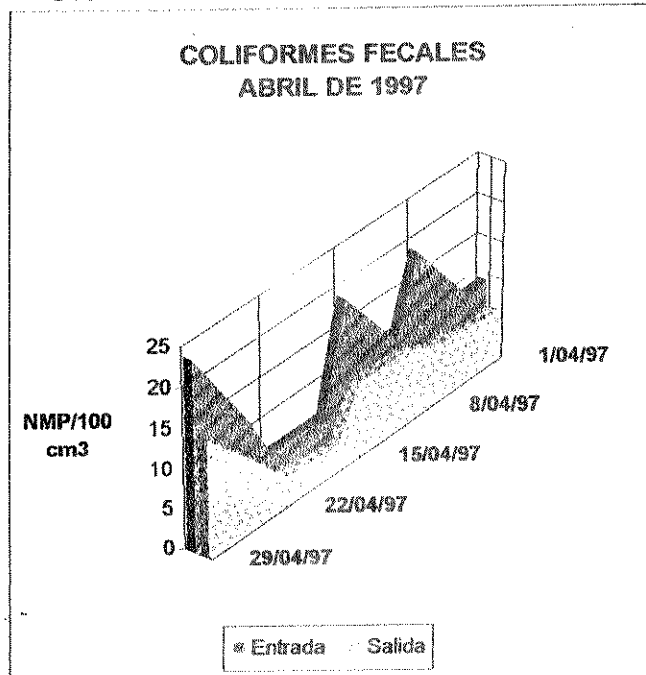


## SISTEMA DE FILTRACIÓN POR PRESIÓN

GRÁFICA No.14

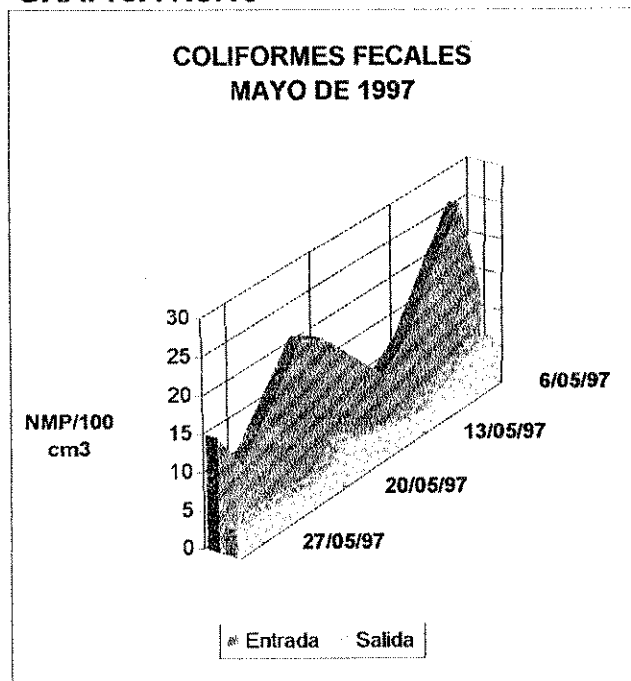


GRÁFICA No.15

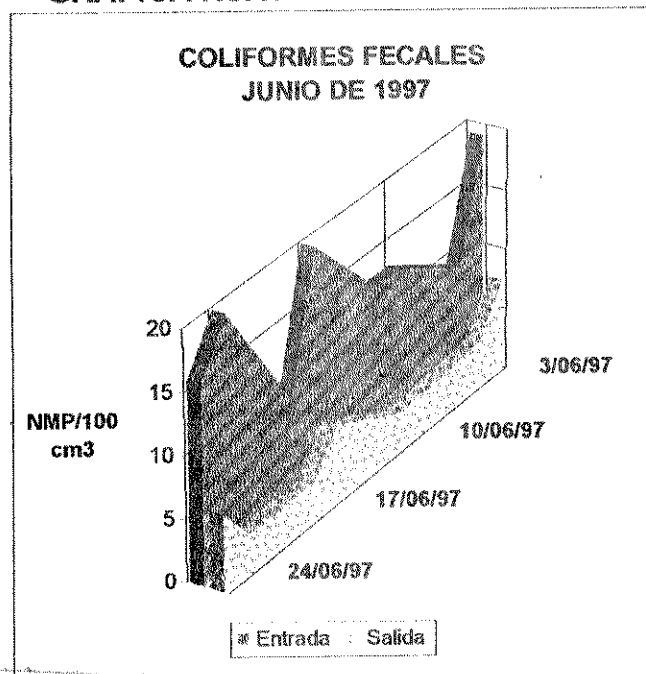


## SISTEMA DE FILTRACIÓN POR GRAVEDAD

GRÁFICA No.16

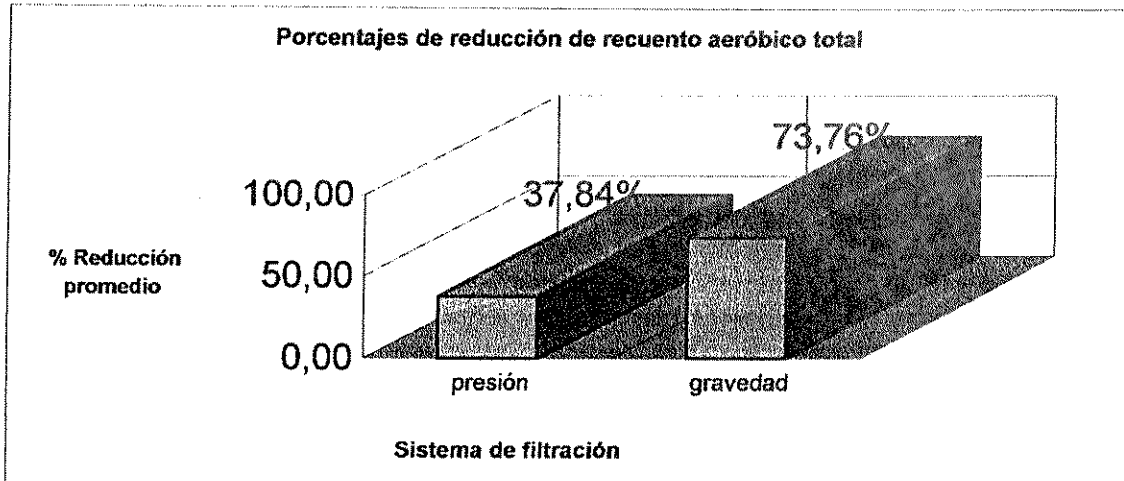


GRÁFICA No.17

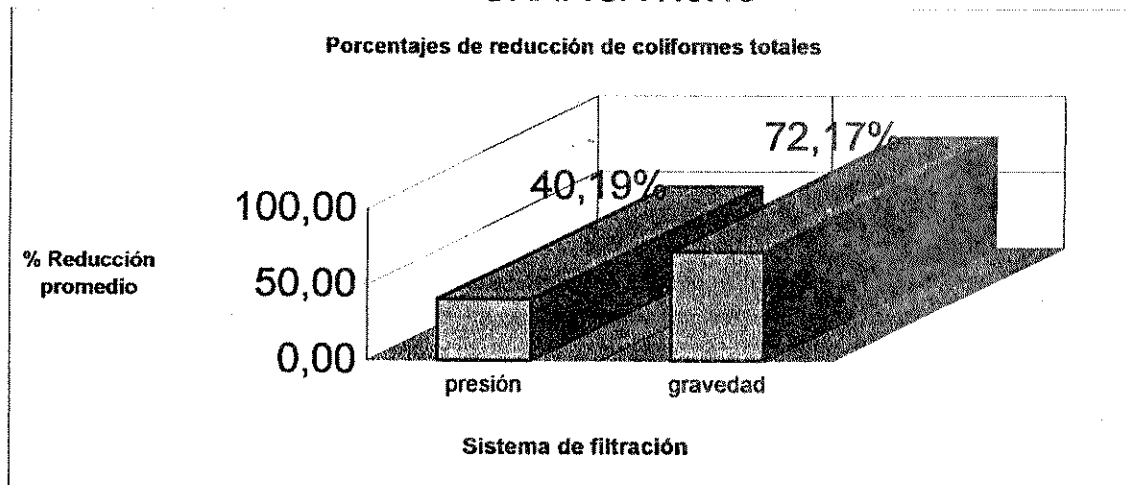


UNIVERSIDAD DE VALA

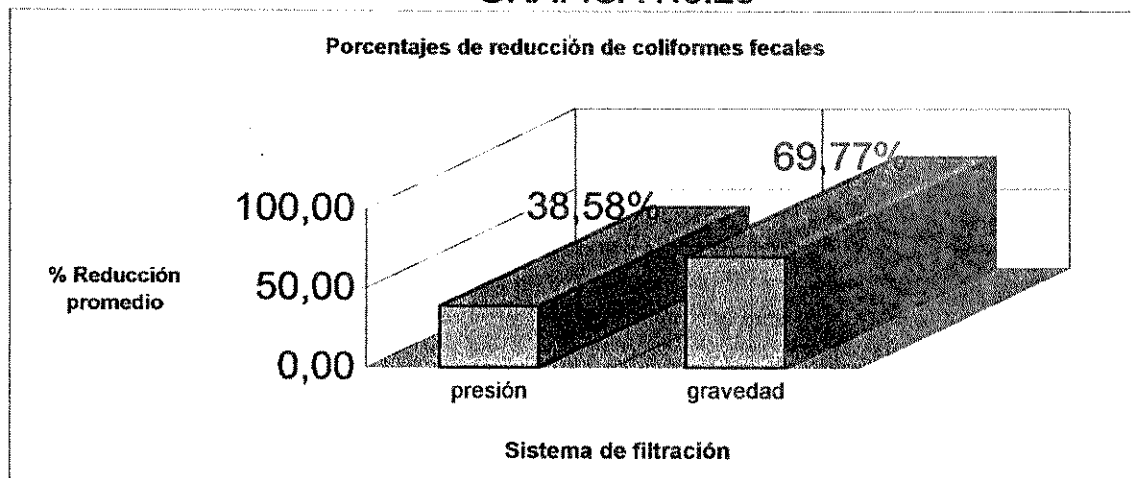
GRÁFICA No.18



GRÁFICA No.19

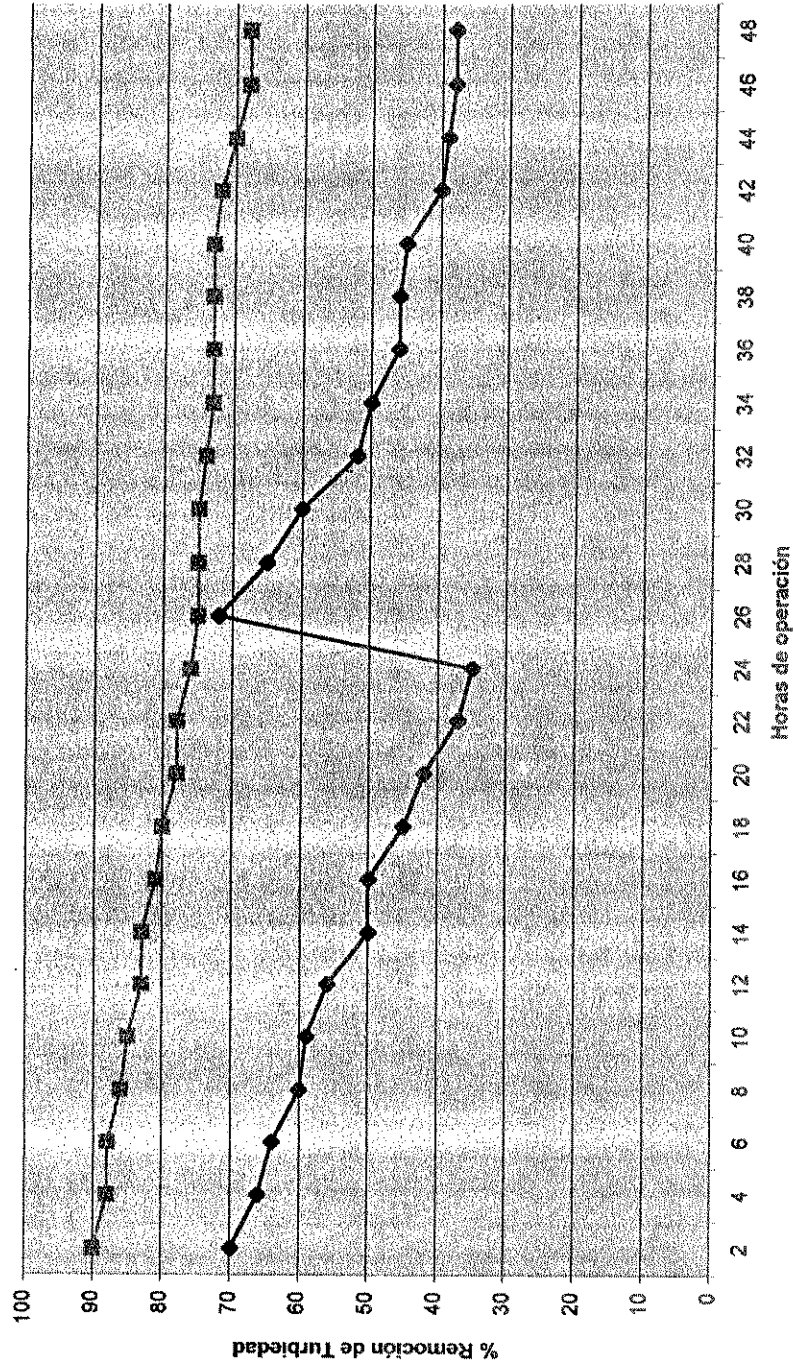


GRÁFICA No.20



# GRÁFICA No.21

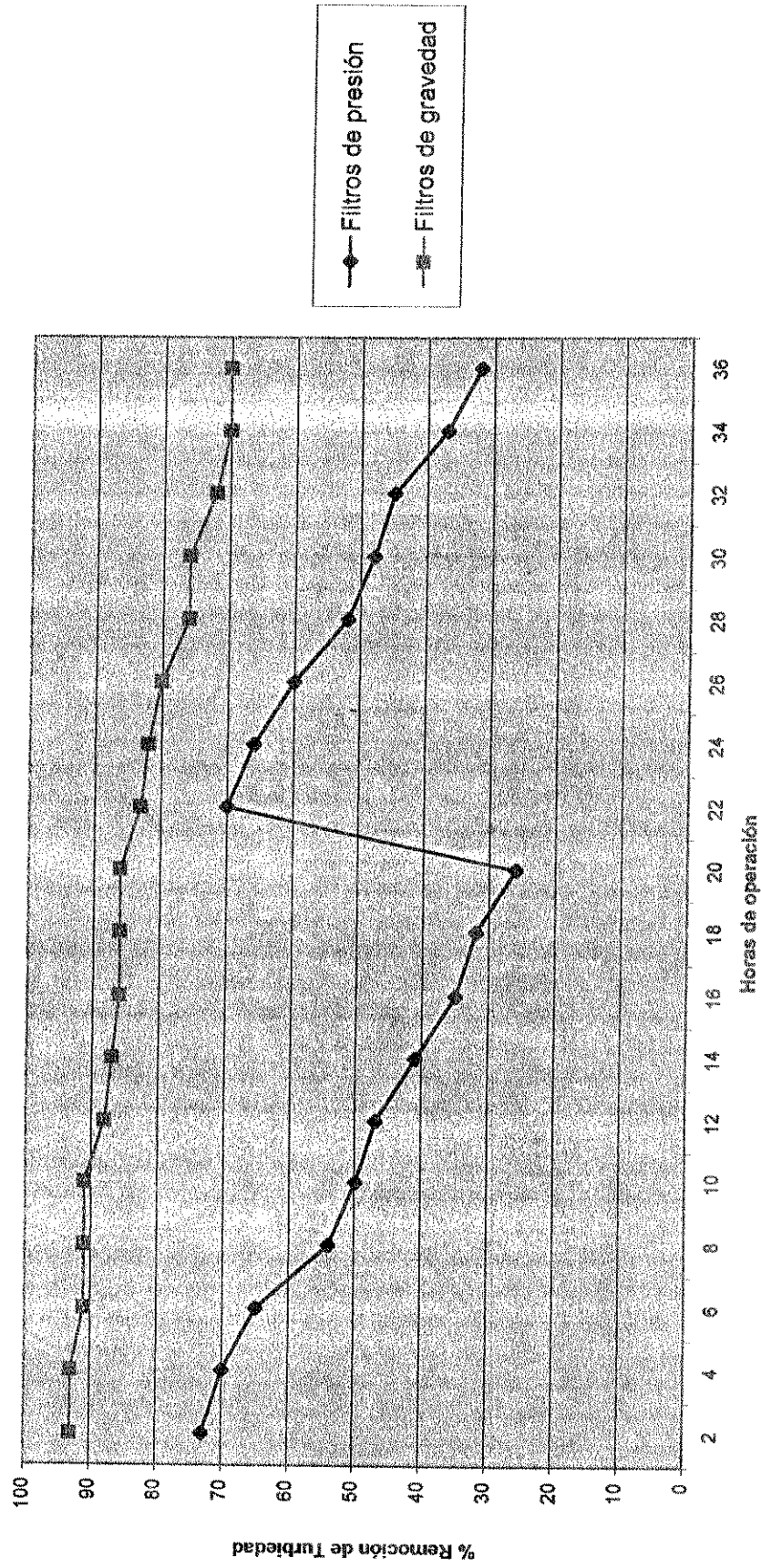
## DURACIÓN DE PERÍODOS DE FILTRACIÓN TURBIEDADES BAJAS



◆ Filtros de presión  
■ Filtros de gravedad

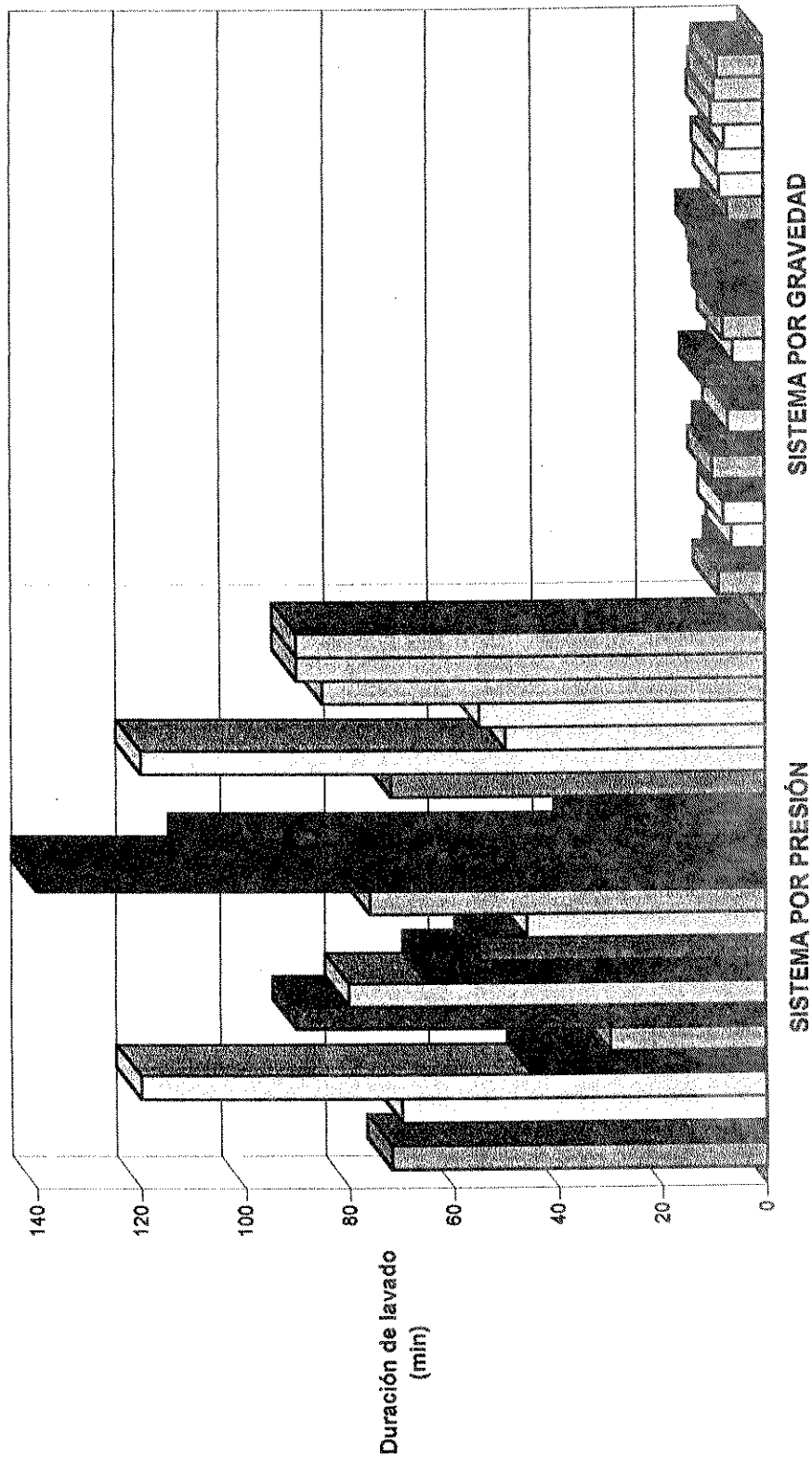
# GRÁFICA No.22

## DURACIÓN DE PERÍODOS DE FILTRACIÓN TURBIEDADES ALTAS



# GRÁFICA No.23

## PERÍODOS DE LAVADO



## ANEXO 3

**PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN POR GRAVEDAD****1. ARRANQUE INICIAL:**

- 1.1 Cerrar las válvulas de entrada y salida de agua del sistema de filtración por presión.
- 1.2 Abrir las dos válvulas de entrada al sistema de gravedad ( $\phi$  450)
- 1.3 Esperar que el nivel de agua suba hasta la altura superior de las válvulas en los canales de distribución.
- 1.4 Asegurarse que las válvulas de drenaje ( $\phi$  700) y de lavado de superficie ( $\phi$  300) estén cerradas.
- 1.5 Abrir totalmente la válvula de entrada al sistema de filtros ( $\phi$  400)
- 1.6 Esperar que el nivel de agua dentro de los filtros llegue a la parte superior de los canales.
- 1.7 Abrir totalmente (500 mm) las compuertas de salida de los filtros.
- 1.8 Esperar que el agua filtrada rebalse el vertedero de salida del tanque de recolección.
- 1.9 Esperar que el nivel de agua al otro lado del vertedero de salida alcance 2 metros de altura.
- 1.10 Arrancar la bomba de post-cloración.
- 1.11 Ajustar el manómetro de post-cloración.
- 1.12 Abrir las dos válvulas de salida ( $\phi$  500) de agua filtrada.

**2. LAVADO:**

Cada una de las seis unidades de filtración que componen el sistema de filtración por gravedad, después de un período de tiempo de operación, requieren que se interrumpa su operación y se proceda a eliminar del lecho filtrante todas las impurezas acumuladas mediante el paso de agua. Para ello, se efectúa un lavado que deberá llevarse a cabo antes de que el proceso de filtración se detenga debido a la saturación de flóculos en el lecho de arena filtrante.

El sistema de filtros cuenta con todo el equipo necesario para realizar las operaciones de lavado. El proceso de lavado consta de dos etapas: lavado de superficie y retrolavado.

## 2.1 Lavado de superficie:

- 2.1.1 Abrir la válvula de lavado de superficie ( $\phi$  300) de la unidad que se esté lavando.
- 2.1.2 Cerrar la válvula de entra de agua cruda.
- 2.1.3 Abrir la válvula de drenaje hasta la marca (aproximadamente 1/16)
- 2.1.4 Arrancar la bomba de lavado de superficie "A", en el panel (BW-L2) que está colocado en la superficie del sistema. La bomba de lavado de superficie está instalada en el cuarto de bombas, verificar que las válvulas de succión y descarga estén abiertas.
- 2.1.5 Esperar que la bomba de lavado de superficie se detenga automáticamente.
- 2.1.6 Cerrar la válvula de lavado de superficie.
- 2.1.7 Abrir la válvula de fondo ( $\phi$  300) del tanque de relleno.

## 2.2 Retrolavado:

- 2.2.1 Abrir totalmente la válvula de drenaje.
- 2.2.2 Esperar hasta que el agua que salga del lecho de aren filtrante esté limpia (entre 6 y 12 minutos).
- 2.2.3 Cerrar la válvula de drenaje.
- 2.2.4 Abrir la válvula de entrada de agua cruda, para que la unidad inicie nuevamente su operación de filtrado.

## 2.3 Procedimientos de emergencia

### 2.3.1 Agua de relleno

Este sistema de filtración fue diseñado para mantener un flujo de agua de 40,000 m<sup>3</sup> por día. Las condiciones de filtración del agua varían constantemente, dependiendo generalmente de la turbiedad del agua al entrar a la planta; por lo que entre mayor sea la cantidad de turbiedad en el agua será necesario utilizar mayor cantidad de agua en el proceso de lavado.



Es muy importante durante la operación del sistema mantener el nivel de agua dentro del tanque colector de agua filtrada. En ciertas ocasiones, tales como períodos largos de retrolavado o bajo caudal de agua, será necesario utilizar el contenido del tanque de relleno para mantener el nivel.

### 2.3.2 Bajo caudal de agua

Si el caudal de alimentación de agua es menor de 24,000 m<sup>3</sup> por día, no será posible realizar procesos de retrolavado, aunque se utilice el contenido de agua del tanque de relleno.

## 3 PRECAUCIONES

### 3.1 Cuarto de bombas:

- Fuga de agua en una cantidad considerable en alguna parte del equipo de bombeo.
- Vibración o ruido anormal observado durante el funcionamiento.

### 3.2 Tanque de filtración durante el proceso de filtrado

- Los tanques no deberán tener un nivel mayor al recomendado
- Remover piezas de madera o piezas de plástico que ingresen al sistema.

### 3.3 Tanque de filtrado durante el lavado

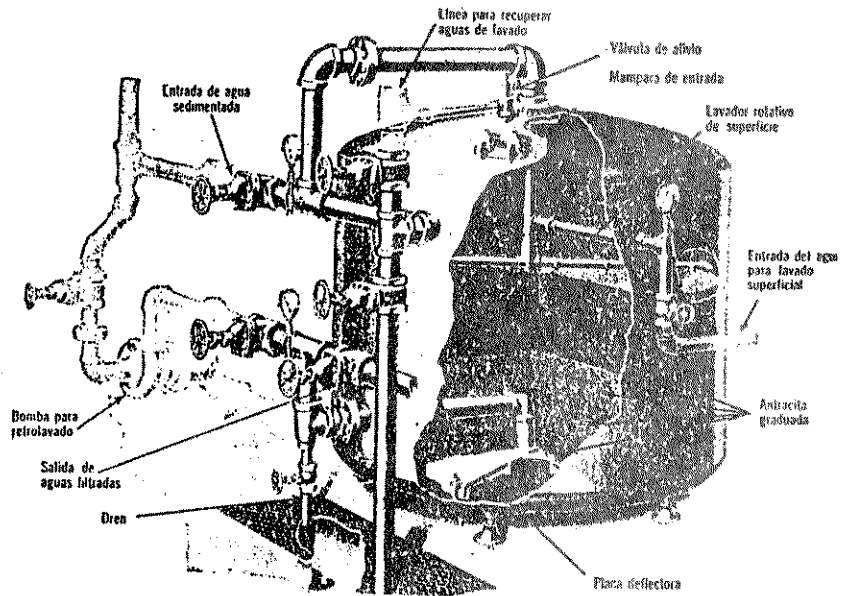
- El volumen de agua que se utiliza en el lavado de superficie, deberá ser equivalente al agua que se drena.

### 3.4 Llenado de la cama filtrante

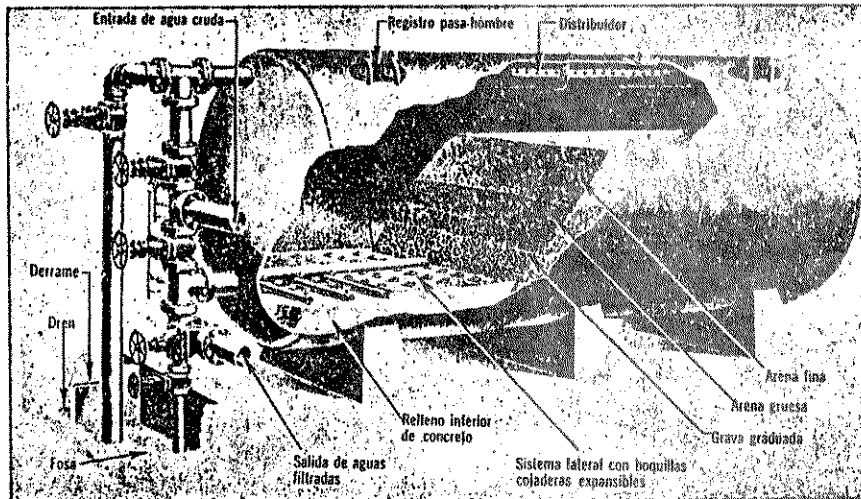
- Es necesario llenar el lecho filtrante cuando se reduzca su espesor en un porcentaje mayor al 10%.

## ANEXO 4

## ESQUEMA DE UNIDAD DE FILTRACIÓN POR PRESIÓN



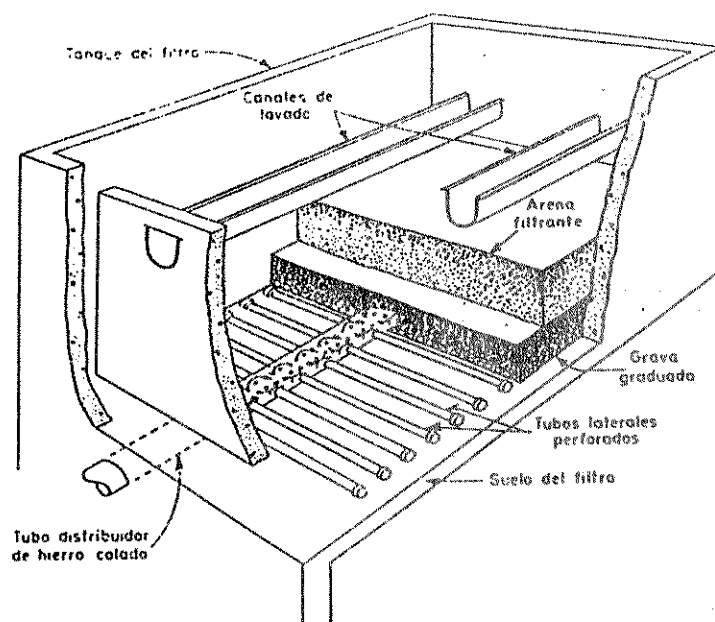
ARREGLO VERTICAL



ARREGLO HORIZONTAL

ANEXO 5

ESQUEMA DE UNIDAD DE FILTRACIÓN  
POR GRAVEDAD



ARREGLO RECTANGULAR DE CONCRETO

# ANEXO 6 MAPA DE UBICACIÓN PLANTA SANTA LUISA

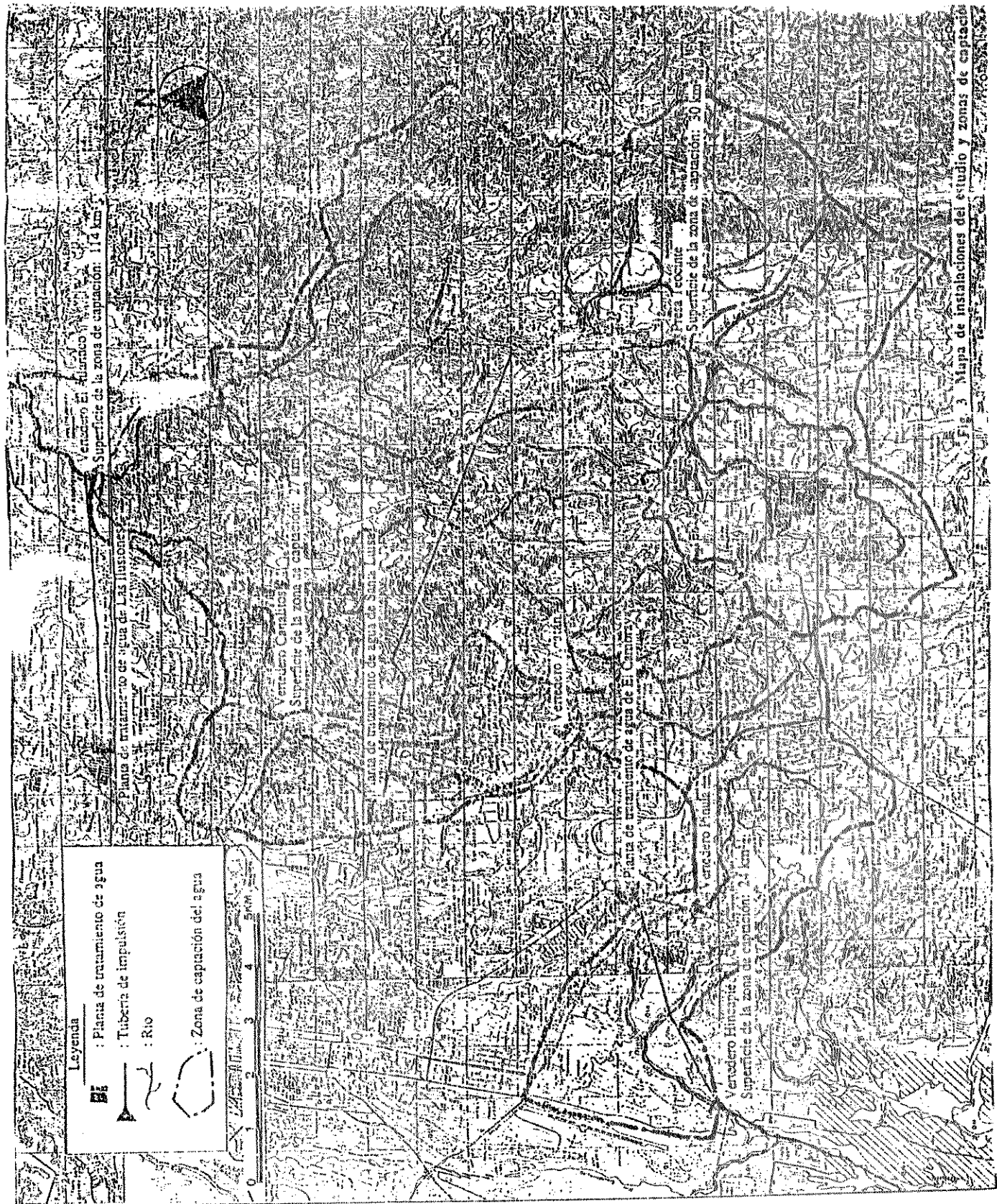


Fig. 3 Mapa de instalaciones del estudio y zonas de captación