

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

**EVALUACION DEL PROCESO DE FILTRACION DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LO DE COY**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA**

**POR  
ALFREDO JEHOVANY RIVERA JUAREZ  
AL CONFERIRSELE EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**Guatemala, noviembre de 1996**

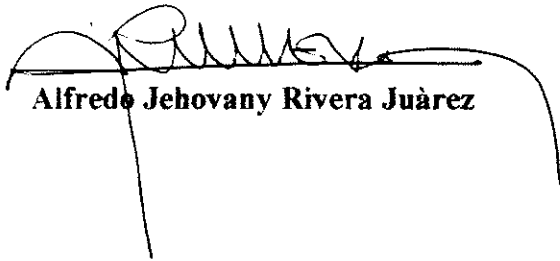
08  
T(3804)  
c.4

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

**Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado :**

**EVALUACION DEL PROCESO DE FILTRACION DE LA PLANTA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LO DE COY**

**tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 20 de julio de 1,995**



**Alfredo Jehovany Rivera Juárez**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Herbert Renè Miranda Barrios</b>
<b>VOCAL 1º</b>	<b>Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra</b>
<b>VOCAL 2º</b>	<b>Ing. Jack Douglas Ibarra Solòrzano</b>
<b>VOCAL 3º</b>	<b>Ing. Juan Adolfo Echeverria Mèndez</b>
<b>VOCAL 4º</b>	<b>Br. Fernando Waldemar de León Contreras</b>
<b>VOCAL 5º</b>	<b>Br. Pedro Ignacio Escalante Pastor</b>
<b>SECRETARIO</b>	

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Julio Ismael González Podszueck</b>
<b>EXAMINADOR</b>	<b>Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno</b>
<b>EXAMINADOR</b>	<b>Ing. Oscar Rolando Majus Fernández</b>
<b>EXAMINADOR</b>	<b>Ing. Eduardo Enrique Ortiz Alvarado</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Ing. Francisco Javier González Lòpez</b>

Guatemala, 23 de agosto de 1,996

Señor  
Ing. Marco Tulio Ventura Roldán  
Jefe del Departamento de Hidráulica,  
Facultad de Ingeniería  
Ciudad Universitaria, Zona 12  
Su Despacho

Señor Jefe :

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para informarle que el trabajo de Tesis titulado **EVALUACION DEL PROCESO DE FILTRACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA LO DE COY**, desarrollado por el Bachiller Alfredo Jehovany Rivera Juárez, de acuerdo al protocolo aprobado por la Escuela de Ingeniería Civil el 20 de julio de 1995 , ha sido revisado por el suscrito en calidad de Asesor, nombrado para el efecto, contando con mi aceptación .

Atentamente,

  
Ing. Julio Rodolfo Escoto Rosales  
ASESOR  
INGENIERO CIVIL



**FACULTAD DE INGENIERIA**

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

*Guatemala, 21 de octubre de 1996*

*Ingeniero*  
**Jack Douglas Ibarra Solorzano**  
**DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA CIVIL**  
*Facultad de Ingeniería*

*Señor Director:*

*Por este medio actuando como Jefe del Departamento de Hidráulica le comunico que el trabajo de tesis del estudiante universitario ALFREDO JEHOVANY RIVERA JUAREZ, con carnet 78-03479 titulado: "EVALUACION DEL PROCESO DE FILTRACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LO DE COY", ha sido satisfactoriamente concluido, así como todas aquellas observaciones de índole técnico que este Departamento hiciera en su debida oportunidad, las cuales han sido incluidas en este trabajo de tesis, por lo que el presente trabajo se dá por aprobado.*

*En base a lo anterior, me permito sugerir dicho trabajo de tesis para investigaciones y proyectos futuros en plantas de tratamiento para agua potable, ya que actualmente no se cuenta con suficiente bibliografía al respecto.*

*Atentamente,*

**"D Y ENSEÑAD A TODOS"**

**Mareo Tulio Ventura Roldán**  
**Ingeniero Hidráulico**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA**



**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 Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Julio Rodolfo Escoto Rosales y como coordinador, Jefe del Departamento de Hidráulica Ing. Marco Tulio Ventura Roldán, trabajo de tesis del estudiante Alfredo Jehovany Rivera Juarez, titulado "EVALUACION DEL PROCESO DE FILTRACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LO COY", da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Jack Douglas Guerra Solórzano



Guatemala, noviembre 1, 1996.

JDIS/164.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

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

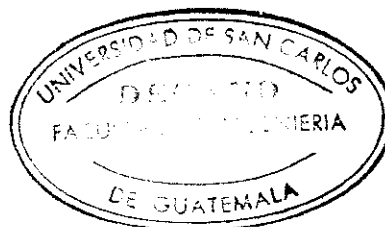
Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano, al trabajo de tesis EVALUACION DEL PROCESO DE FILTRACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LO DE COY, del estudiante Alfredo Jehovany Rivera Juarez.

IMPRIMASE:

Ing. Herbert René Miranda Barrios  
DECANO

Guatemala, noviembre de 1.995



Visa.

## ACTO QUE DEDICO A :

MI MADRE

Conchita Juárez Gutiérrez (Q.E.P.D), por su amor y la tarea de mi evolución cultural, por su valiosa ayuda moral, espiritual y económica, lo que considero un digno ejemplo y confortable demostración de lo que puede la iniciativa, el entusiasmo y la fe, por la causa noble que se propuso.

MI PADRE

José Rodolfo Rivera Solís, por la vida y estímulo.

MI HERMANA

Elizabeth, por su ejemplo, apoyo incondicional y paciencia.

MIS HERMANOS

Dalila, Luis Joe y Pilar de quienes siempre recibí estímulo y apoyo.

MIS TIAS

Maria Cristina, Raquel, Hercilia y Angélica Juárez Gutiérrez por su ayuda moral y espiritual.

MI COMPADRE

Edgar Búcaro Pérez, por su amistad fraternal.

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA.

Por mi relación laboral.

FACULTAD DE INGENIERIA

Por sus sabias enseñanzas.



## **AGRADECIMIENTO A :**

**Dios por la vida y por permitirme obtener la presente meta.**

**Ing. Julio Escoto Rosales, por su asesoría y amistad.**

**Ing. Lidia Canepa de Vargas, por su capacitación.**

**Arq. Roberto Montes Ortíz, por su amistad y colaboración.**

**mis sobrinos Edy y Saira Molina, Rodolfo y Mario Jolón, por su entusiasmo y colaboración en el levantado de texto del presente trabajo.**

**todas aquellas personas, familiares y amigos que en una forma directa o indirecta me prestaron colaboración.**

# CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>Listado de Gráficas</b>	<b>1</b>
<b>Glosario</b>	<b>3</b>
<b>Introducción</b>	<b>5</b>
<b>Justificación</b>	<b>6</b>
<b>Objetivos</b>	<b>7</b>
<b>1. Descripción del Sistema de Agua Potable Lo de Coy</b>	<b>8</b>
1.1. Fuentes y Captaciones	8
1.2. Conducción	8
1.3. Planta de Tratamiento	8
1.3.1. Calidad de Agua	8
1.3.2. Tipo de Tratamiento	11
1.4. Capacidad de Producción	15
<b>2. Descripción del Sistema de Filtración</b>	<b>18</b>
2.1. Medio de Filtración	18
2.2. Fondo Filtrante	18
2.3. Funcionamiento de los Filtros	18
2.4. Equipos y Controles	22
2.4.1. Consolas	22
2.4.2. Válvula del Efluente	22
2.4.3. Válvulas para la Operación de cada Filtro	22
2.4.4. Indicador de Pérdida de Carga	24
2.5. Operación de los Filtros	24
2.6. Lavado de Filtros	25
2.6.1. Retrolavado	25
2.6.2. Lavado Superficial	26
2.6.3. Operación de lavado de Filtros	26
2.7. Ayuda de Filtración	27
2.8. Descripción del Sistema de Recuperación de Agua de Lavado	27
2.9. Colectores de Agua Filtrada	28
<b>3. Teoría de Ensayos de Evaluación</b>	<b>29</b>
3.1. Características del Lecho Filtrante	29

# CONTENIDO

	Página
3.1.1. Granulometria y Espesor del Medio Filtrante	29
3.1.1.1. Objetivos	29
3.1.1.2. Equipo y Materiales	29
3.1.1.3. Procedimientos	29
3.1.2. Bolas de Lodo	30
3.1.2.1. Objetivos	30
3.1.2.2. Equipo y Materiales	30
3.1.2.3. Procedimientos	30
3.2. Características del Proceso de Lavado	33
3.2.1. Velocidad del Lavado del Filtro	33
3.2.1.1. Objetivos	33
3.2.1.2. Equipo y Materiales	33
3.2.1.3. Procedimientos	33
3.2.2. Expansión del Lecho Filtrante	34
3.2.2.1. Objetivos	34
3.2.2.2. Equipo y Materiales	34
3.2.2.3. Procedimientos	34
3.2.3. Duración del Proceso de Lavado	35
3.2.3.1. Objetivos	35
3.2.3.2. Equipo y Materiales	35
3.2.3.3. Procedimiento	35
3.2.4. Perfil del Lecho de Grava	35
3.2.4.1. Objetivos	36
3.2.4.2. Equipo y Materiales	36
3.2.4.3. Procedimiento	36
3.3. Características del Proceso de Filtración	36
3.3.1. Velocidad y Caudal de Filtración	36
3.3.1.1. Objetivos	36
3.3.1.2. Equipo y Materiales	44
3.3.1.3. Procedimiento	44
3.3.2. Pérdida de Carga	44
3.3.2.1. Objetivos	44
3.3.2.2. Equipo y Materiales	44
3.3.2.3. Procedimiento	44
3.3.3. Fluctuaciones de Pérdida de Carga	45
3.3.3.1. Objetivos	45
3.3.3.2. Equipo y Materiales	45
3.3.3.3. Procedimiento	45
3.3.4. Calidad del agua de la Etapa Inicial de Filtración	46
3.3.4.1. Objetivos	46
3.3.4.2. Equipo y Materiales	46
3.3.4.3. Procedimiento	46

# CONTENIDO

	<b>Página</b>
3 4	Eficiencia del Proceso de Filtración 46
3 4.1	Parámetros Físicos 46
3 4.1.1.	Objetivos 47
3 4.1.2.	Equipo y Materiales 47
3 4.1.3.	Procedimiento 47
3 4.2	Remoción Bacteriológica 47
3 4.2.1.	Objetivo 47
3 4.2.2.	Equipo y Materiales 47
3 4.2.3.	Procedimiento 47
4	Aplicación 49
4 1	Resultados Obtenidos 49
4.1 1	Características del Lecho Filtrante 49
4.1.1.1.	Granulometría y Espesor del Lecho Filtrante 49
4.1.1.2.	Bolas de Lodo 58
4.1.2.	Características del Proceso de Lavado 59
4.1.2.1.	Velocidad de Lavado del Filtro 59
4.1.2.2.	Expansión del Lecho Filtrante 60
4.1.2.3.	Duración del Proceso de Lavado 67
4.1.2.3.	Perfil del Lecho de Grava 71
4 1 3.	Características del Proceso de Filtración 71
4.1.3.1.	Velocidad y Caudal de Filtración 71
4.1.3.2.	Pérdida de Carga 78
4.1.3.3.	Fluctuaciones de Pérdida de Carga 78
4.1.3.4.	Calidad del agua de la Etapa Inicial de Filtración 88
4.1.4.	Eficiencia del Proceso de Filtración 88
4.1.4.1.	Remoción de Turbiedad 88
4.1.4.2.	Remoción Bacteriológica 107
4 2	Análisis e Interpretación de los Resultados 110
4.2.1.	Características del Lecho Filtrante 110
4.2.2.	Características del Proceso de Lavado 110
4.2.3.	Características del Proceso de Filtración 112
4.2.4.	Eficiencia del Proceso de Filtración 114
5	Conclusiones 116
6	Recomendaciones 118
	Referencias Bibliográficas 119

## LISTADO DE GRÁFICAS

No.	Descripción
1.1	Localización Planta Lo de Coy
1.2	Fuentes, captación y conducción de caudal a tratar en Planta Lo de Coy
1.3	Componentes de la planta de tratamiento de agua potable Lo de Coy
1.4	Esquema de tratamiento Planta de tratamiento de agua potable Lo de Coy
1.5	Producción porcentual anual por sistema durante 1995.
2.1	Planta general de filtros
2.2	Sección de filtros
2.3	Isométrica de filtros
2.4	Válvulas para la operación de filtros
3.1	Equipo para realizar prueba de bolas de lodo
3.2	Ilustración del ensayo para medir el perfil del lecho filtrante
3.3	Ubicación de puntos para la determinación de altura de grava para el filtro # 1
3.4	Ubicación de puntos para la determinación de altura de grava para el filtro # 2
3.5	Ubicación de puntos para la determinación de altura de grava para el filtro # 3
3.6	Ubicación de puntos para la determinación de altura de grava para el filtro # 4
3.7	Ubicación de puntos para la determinación de altura de grava para el filtro # 5
3.8	Ubicación de puntos para la determinación de altura de grava para el filtro # 6
3.9	Sistema para medir la expansión de la arena durante el lavado
4.1	Curva granulométrica de la arena filtro # 1
4.2	Curva granulométrica de la arena filtro # 2
4.3	Curva granulométrica de la arena filtro # 3
4.4	Curva granulométrica de la arena filtro # 4
4.5	Curva granulométrica de la arena filtro # 5
4.6	Curva granulométrica de la arena filtro # 6
4.7	Curva granulométrica de la antracita filtro # 1
4.8	Curva granulométrica de la antracita filtro # 2
4.9	Curva granulométrica de la antracita filtro # 3
4.10	Curva granulométrica de la antracita filtro # 4
4.11	Curva granulométrica de la antracita filtro # 5
4.12	Curva granulométrica de la antracita filtro # 6
4.13	Caja del filtro # 1 con diferentes puntos, en los que se midió la expansión del lecho filtrante
4.14	Caja del filtro # 2 con diferentes puntos, en los que se midió la expansión del lecho filtrante
4.15	Caja del filtro # 3 con diferentes puntos, en los que se midió la expansión del lecho filtrante
4.16	Caja del filtro # 4 con diferentes puntos, en los que se midió la expansión del lecho filtrante
4.17	Caja del filtro # 5 con diferentes puntos, en los que se midió la expansión del lecho filtrante

- 4.18 Caja del filtro # 6 con diferentes puntos, en los que se midió la expansión del lecho filtrante
- 4.19 Duración del proceso de lavado filtro # 1
- 4.20 Duración del proceso de lavado filtro # 2
- 4.21 Duración del proceso de lavado filtro # 3
- 4.22 Duración del proceso de lavado filtro # 4
- 4.23 Duración del proceso de lavado filtro # 5
- 4.24 Duración del proceso de lavado filtro # 6
- 4.25 Topografía del lecho de grava del filtro # 1
- 4.26 Topografía del lecho de grava del filtro # 2
- 4.27 Topografía del lecho de grava del filtro # 3
- 4.28 Topografía del lecho de grava del filtro # 4
- 4.29 Topografía del lecho de grava del filtro # 5
- 4.30 Topografía del lecho de grava del filtro # 6
- 4.31 Pérdida de carga filtro # 1
- 4.32 Pérdida de carga filtro # 2.
- 4.33 Pérdida de carga filtro # 3
- 4.34 Pérdida de carga filtro # 4
- 4.35 Pérdida de carga filtro # 5
- 4.36 Pérdida de carga filtro # 6
- 4.37 Amplitud de fluctuación de pérdida de carga filtro # 1
- 4.38 Amplitud de fluctuación de pérdida de carga filtro # 2
- 4.39 Amplitud de fluctuación de pérdida de carga filtro # 3
- 4.40 Amplitud de fluctuación de pérdida de carga filtro # 4
- 4.41 Amplitud de fluctuación de pérdida de carga filtro # 5
- 4.42 Amplitud de fluctuación de pérdida de carga filtro # 6
- 4.43 Calidad del agua al inicio del funcionamiento del Filtro # 1
- 4.44 Calidad del agua al inicio del funcionamiento del Filtro # 2
- 4.45 Calidad del agua al inicio del funcionamiento del Filtro # 3
- 4.46 Calidad del agua al inicio del funcionamiento del Filtro # 4
- 4.47 Calidad del agua al inicio del funcionamiento del Filtro # 5
- 4.48 Calidad del agua al inicio del funcionamiento del Filtro # 6
- 4.49 Curva de frecuencia acumulada de turbiedad para el Filtro # 1
- 4.50 Curva de frecuencia acumulada de turbiedad para el Filtro # 2
- 4.51 Curva de frecuencia acumulada de turbiedad para el Filtro # 3
- 4.52 Curva de frecuencia acumulada de turbiedad para el Filtro # 4
- 4.53 Curva de frecuencia acumulada de turbiedad para el Filtro # 5
- 4.54 Curva de frecuencia acumulada de turbiedad para el Filtro # 6

## GLOSARIO

Afluente	En un sistema de abastecimiento de agua, se entiende como el caudal que está ingresando a uno de sus elementos.
Bacteria	Organismos unicelulares, microscópicos, que no necesitan luz para sus procesos de vida.
Color	El color en el agua se debe a la presencia de materias orgánicas disueltas o coloidales.
Efluente	En un sistema de abastecimiento de agua potable, se entiende como el caudal que está egresando de uno de sus elementos.
Friabilidad	Mediante el ensayo correspondiente, pueden elegirse los materiales utilizables en filtración, sin peligro de que se produzcan finos en las operaciones de lavado. Así un material friable debe de rechazarse.
Granulometría	Se caracteriza por una curva representativa de los porcentajes en peso, que pasan a través de las mallas de una sucesión de tamices normalizados.
NMP	Cuando se hace un examen Bacteriológico por el método de tubos de fermentación, el resultado se expresa como Número más probable (NMP).
pH (Potencial Hidrógeno)	Es una expresión de la concentración de los iones hidrógeno, varía de 1 a 14 grados de pH.
Retrolavado	Es el sistema principal para el lavado de los Filtros de Flujo descendente y se consigue haciendo circular el agua en sentido inverso, ya sea por la carga de las otras unidades o bien utilizando un tanque elevado.

Turbiedad

Es la medida del contenido de materias en suspensión sedimentables que contiene el agua.

UC

Unidades de color, en el método platino-cobalto se compara el color del agua a analizar, con soluciones platino-cobalto a diferentes concentraciones.

UTN

Unidades de Turbiedad Nefelométricas. Se determina, al comparar la intensidad de Luz difundida por la muestra en aparatos de Célula fotosensible.



## INTRODUCCION

El presente trabajo "Evaluación del Proceso de Filtración de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Lo de Coy" consta de dos partes. En la primera parte, se presentan los objetivos y la justificación del trabajo y en la segunda parte, se presenta esencialmente lo siguiente:

- 1 Descripción de la planta de tratamiento.
- 2 Descripción del sistema de filtración.
- 3 Teoría de los ensayos de evaluación.
- 4 Aplicación, presentación y análisis de resultados obtenidos.
- 5 Conclusiones y recomendaciones.

El proceso de filtración es bastante complejo y envuelve una serie de mecanismos cuya acción simultánea se manifiesta a lo largo de la carrera de filtración de las unidades.

Las características del agua que ingresa a los filtros determina la calidad del efluente, principalmente a través de la concentración, naturaleza, tamaño y propiedades de adherencia de las partículas. Estas características pueden ser relacionadas con un índice de filtrabilidad, cuya determinación podría ser realizada mediante el estudio de parámetros relativamente fáciles de ser determinados como lo son la turbiedad y pérdida de carga.

Las características del medio filtrante desempeñan así mismo un papel importante en la eficiencia del proceso, principalmente la granulometría del material filtrante.

A consecuencia de las características de la suspensión acuosa de partículas, del medio filtrante y la velocidad de filtración; la pérdida de carga y la calidad del agua filtrada son las variables del proceso más fáciles controlar y posiblemente de mayor significado en la operación del filtro.

En los ensayos que se realizaron se presentan los procedimientos para evaluar como influyen todas las variables en una instalación de filtración rápida.

## JUSTIFICACIÓN

Las unidades de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Lo de Coy, tienen más de diez y siete (17) años de funcionamiento continuo, en dicho período se han detectado ciertos problemas que dificultan su operación óptima, siendo los más importantes los siguientes:

Pérdida del material filtrante, en especial la antracita.

Cambios de la granulometría del material filtrante debido al desgaste producido por el mismo funcionamiento.

Los sistemas de control de operación de los filtros han cambiado en relación al diseño original.

Los dispositivos de medición de pérdida de carga están fuera de servicio

Actualmente, la Dirección de Operación y Mantenimiento de la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala EMPAGUA, está realizando esfuerzos para restituir la antracita perdida, sin embargo los elementos que no funcionan adecuadamente tienen una influencia determinante en la operación del sistema de filtración.

El presente trabajo de tesis puede ser una herramienta de consulta para los ingenieros que así lo requieran, en la adopción de parámetros operacionales, en la decisión que se pueda tomar para rehabilitar los elementos que actualmente no funcionan a cabalidad, así como para la selección y adquisición del material filtrante (antracita y arena), que se tendrá que restituir y que con los costos actuales presupone una inversión económica que asciende a ciento ochenta mil quetzales (Q 180,000.00) por cada unidad y que hace un total de un millón ochenta mil quetzales (Q1.080,000.00) en la reposición del material antracita para los seis filtros con que actualmente cuenta la planta. Este dato es independiente del costo del arena que tendría que reponerse y que aún no se ha cotizado.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Evaluar el funcionamiento de las unidades de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Lo de Coy

### **ESPECÍFICOS**

1. Evaluar por medio de ensayos las características de proceso de filtración.
2. Determinar si existen problemas en el proceso de filtración y sus posibles orígenes.
3. Determinar la eficiencia y capacidad operacional.
4. Recomendar acciones que tiendan de mejorar la operación de los elementos de filtración y por ende la calidad del producto final.

# 1 Descripción del Sistema de Agua Potable Lo de Coy.

## 1.1 Fuente y Captaciones.

La fuente de abastecimiento proviene de la captación por medio de dos presas derivadoras de los ríos Xayá, de la vertiente del Atlántico; y Pixcayá, de la vertiente del Pacífico. (ver gráfica 1.2)

El río Xayá ha sido desviado a través de un túnel bajo la divisoria continental de aguas para unirse al río Pixcayá. en un punto aguas arriba de la captación de este último, el caudal ya unificado tarda un tiempo promedio de ocho horas en llegar desde la captación hasta la planta de tratamiento.(ver gráfica 1.2)

## 1.2 Conducción.

Los caudales de los dos ríos, Xayá y Pixcayá, alimentan a la planta de tratamiento Lo de Coy, por doble aducción de canales y sifones, no así los túnelès que son comunes a las dos líneas. La longitud del acueducto es de 48.4 km., integrados de la siguiente manera: (ver gráfica 1.2)

Conducción Río Xayá	7,717 m
Conducción Río Pixcayá - Planta Lo de Coy	40,657 m
	48,374 m
TOTAL	

## 1.3 Planta de Tratamiento “Lo de Coy”.

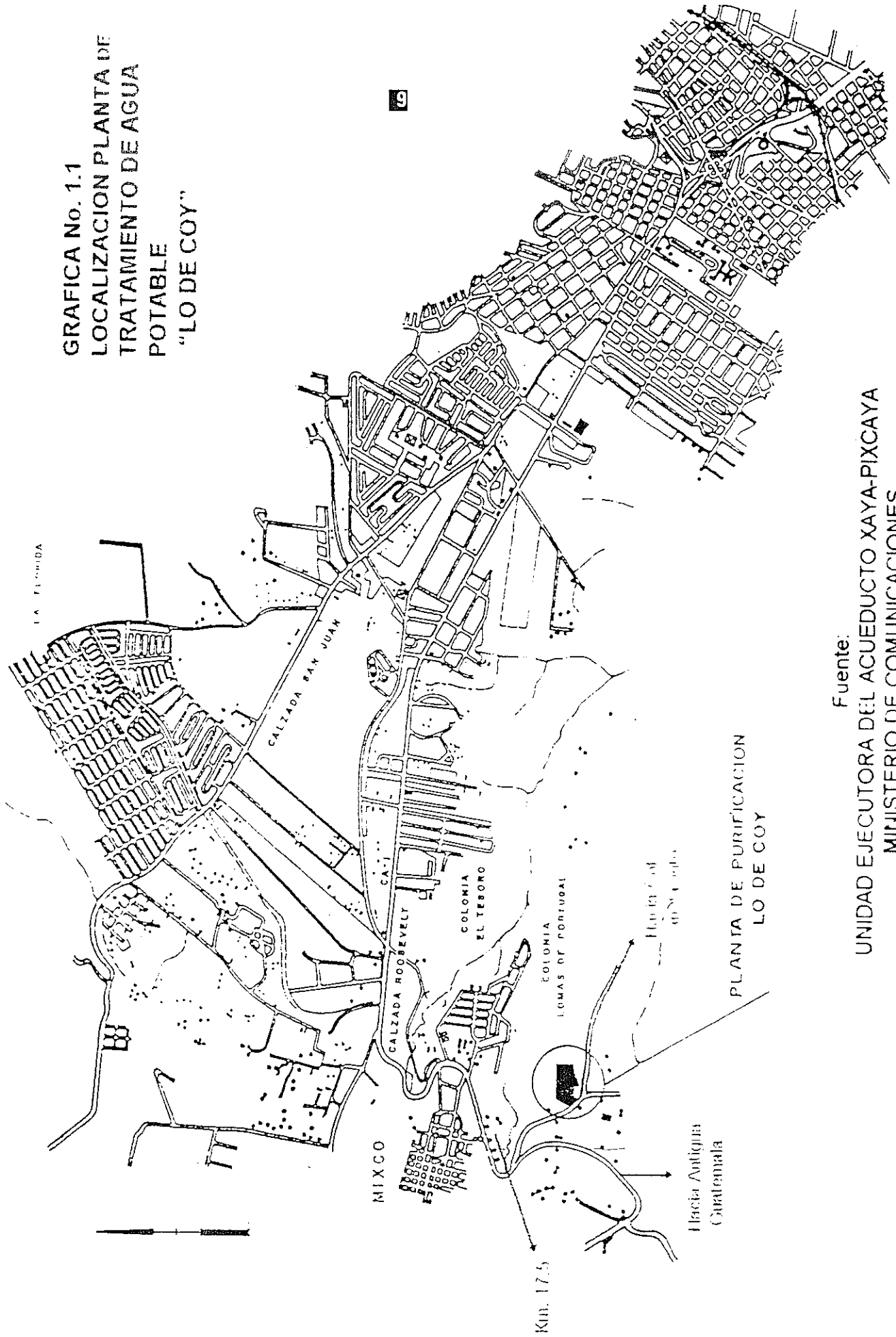
La estación de tratamiento de agua potable Lo de Coy está situada al oeste de la Ciudad Capital de Guatemala, en el municipio de Mixco (ver gráfica 1.1). La primera etapa se puso en servicio en 1979 para un caudal de estío de  $1 \text{ m}^3 / \text{s}$

El agua producida por esta planta alimenta de agua potable a las zonas 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 18 y 19

### 1.3.1 Calidad de Agua.

El caudal que alimenta la planta se caracteriza por muy importantes variaciones de ciertos parámetros como lo son la turbiedad y color. no solamente en función de la estación, sino también en el curso del día. El examen de estos parámetros en la captación y el tiempo importante de tránsito (8 horas), permiten prever estas variaciones antes de la llegada a la planta de manera de poder regularla acorde a las necesidades.

**GRAFICA No. 1.1  
LOCALIZACION PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE  
"LO DE COY"**



Fuente:  
UNIDAD EJECUTORA DEL ACUEDUCTO XAYA-PIXCAYA  
MINISTERIO DE COMUNICACIONES



**Turbiedad:** En época seca, (noviembre a mayo), la turbiedad es baja 10 a 20 Unidades de Turbiedad Nefelométricas (UTN), por el contrario en época de lluvias y sobre todo en junio y julio, puede alcanzarse magnitudes de 8500 o más; o bien tener variaciones de 50 a 2000 unidades durante un mismo día. Debido a las variaciones que este parámetro físico presenta, se tomará su remoción por medio de los filtros como un aspecto para medir la eficiencia de los mismos.

**Color:** De 20 a 60 Unidades de Color (UC) en época seca a más de 30,000 en época lluviosa.

**Materias en suspensión:** de 20 a 3300 mg/l

**pH:** Ligeramente básico de 7.1 a 8.1

**Alcalinidad:** De 65 ml/l a 85 mg/l de (CaCo<sub>3</sub>)

**La contaminación bacteriológica** sobrepasa el Número Más Probable (NMP) de 24,000 de coliformes por 100 ml lo cual es característico de aguas de superficie en regiones habitadas.

### 1.3.2 Tipo de Tratamiento y Dimensionamiento.

El tratamiento de agua potable que se desarrolla en la planta Lo de Coy, es del tipo convencional (ver gráficas 1.3 y 1.4), con los siguientes procesos:

- Aplicación y mezcla rápida de coagulantes, ayudantes de coagulación, cloro y sulfato de cobre
- Mezcla lenta por medio de floculadores hidráulicos
- Sedimentación en tanques simples de flujo horizontal
- Filtración rápida por gravedad
- Desinfección por medio de la aplicación de cloro

La planta cuenta con los siguientes elementos (ver gráficas 1.3 y 1.4)

- \* Cámara de entrada con rejilla fija para cribado.
- \* Canal de entrada de agua cruda, con medidor de caudal Parshal (la garganta del canal Parshal mide 7 pies), el que sirve también para mezclar los reactivos que se aplican en este punto: Sulfato de Aluminio, cal, polielectrolito, cloro, y sílico fluoruro de sodio.
- \* Tres floculadores hidráulicos del tipo vuelta en punta, cada uno de ellos tiene cuatro tramos con pantallas a diferentes espaciamientos. Dimensiones: 65.6 m x 6 m x 2.5 a 3.7 metros.

- \* Cuatro sedimentadores simples de flujo horizontal, cada uno con las siguientes dimensiones: ancho 15.90 m, largo 57.80 m. profundidad 4.20 m.
- \* Seis filtros del tipo abierto de concreto, con las características siguientes: dimensiones 12.80 x 7.55 m, superficie de filtración 12.80 x 6.10 = 78.08 metros cuadrados.
- \* Lecho filtrante original:

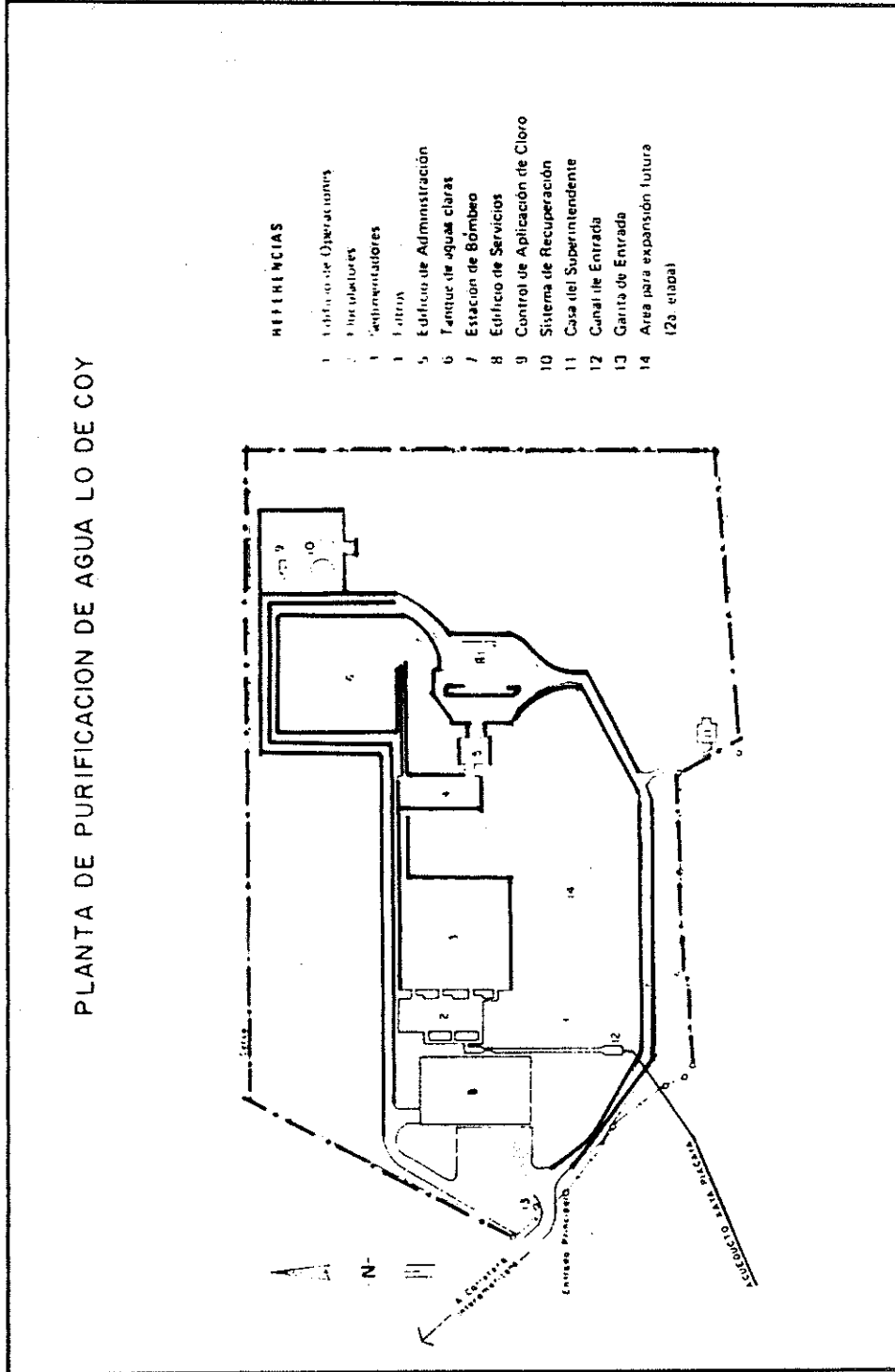
Grava	$\varnothing = 8-25.6$		Espesor = 0.30 m
Arena	te = 0.4	c.u. = 1.5	Espesor = 0.25 m
Antracita	te = 1.1	c.u. = 1.5	Espesor = 0.50 m

te = tamaño efectivo

c.u. = coeficiente de uniformidad

- \* Canal de agua filtrada con medidor de caudal Parshal (Garganta 7 pies).
- \* Tanque de almacenamiento y distribución con capacidad de 25,000 m<sup>3</sup>
- \* Sistema para dosificar cloro en cuatro puntos diferentes durante el proceso de tratamiento de la planta.
- \* Almacenes, preparación y sistemas de inyección de reactivos.
- \* Sistema de agua de recuperación de agua de lavado de filtros.
- \* Servicios de agua y aire bajo presión.
- \* Generador eléctrico de emergencia.
- \* Area administrativa y de laboratorio.



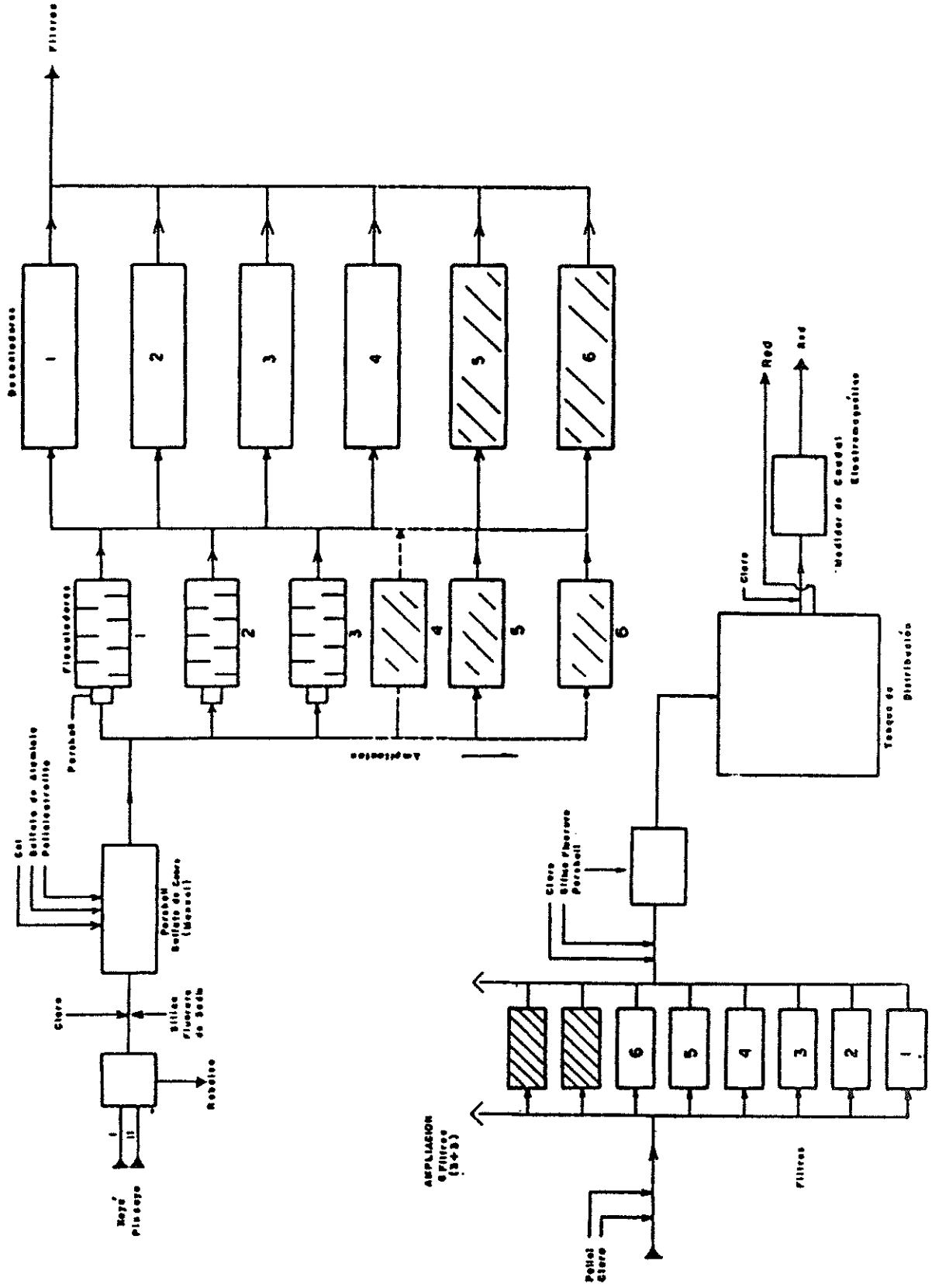


FUENTE:  
 UNIDAD EJECUTORA DEL ACUEDUCTO XAYA-PIXCAY  
 MINISTERIO DE COMUNICACIONES

GRAFICA 1.3

# PLANTA LO DE COY

## ESQUEMA DE TRATAMIENTO



GRÁFICA 1.4

SE TIENE CONTEMPLADO EN LA AMPLIACION UN TANQUE ELEVADO.

## 1.4 Capacidad de Producción

Caudal teórico (Diseño)	90000 m <sup>3</sup> /día	1.040 m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo (Diseño)	109600 m <sup>3</sup> /día	1.268 m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo (Hidráulico)*	141700 m <sup>3</sup> /día	1.640 m <sup>3</sup> /s
Caudal medio	97100 m <sup>3</sup> /día	1.124 m <sup>3</sup> /s
Caudal mínimo mensual	84150 m <sup>3</sup> /día	0.974 m <sup>3</sup> /s
Caudal mínimo histórico	63940 m <sup>3</sup> /día	0.740 m <sup>3</sup> /s

En el cuadro 1.1 se presentan las estadísticas de producción de los diferentes sistemas de EMPAGUA, así como el porcentaje respecto a la producción anual. En la gráfica 1.5 se puede observar los porcentajes de producción por sistema en el año 1995.

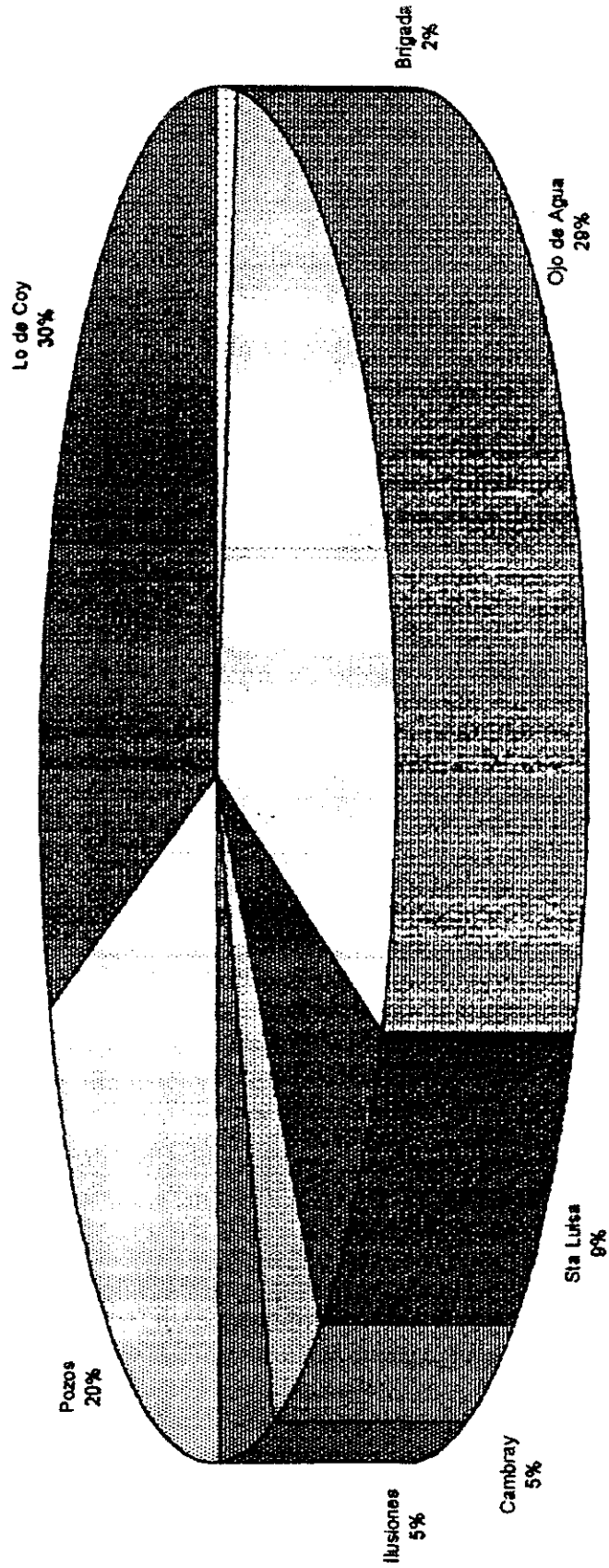
**Cuadro 1.1**  
**Estadísticas de Producción**

Año	Sistema Lo de Coy	Sistema La Brigada	Sistema Ojo De Agua	Sistema Sta. Luisa	Sistema El Cambray	Sistema Las Ilusiones	Pozos Ciudad	TOTAL
<b>1980</b>								
l/s	697.5	55.3	582.3	363	173.8	160.9	133.3	2166.1
m <sup>3</sup> /d	60260	47.80	503.10	31360	15020	13900	11520	187150
%	32.2	2.6	26.9	16.8	8	7.4	6.2	
<b>1981</b>								
l/s	795.4	83.7	542.8	366.6	186.1	163.7	123.8	2262.1
m <sup>3</sup> /d	68720	7230	46900	31670	16080	14140	10700	195440
%	35.2	3.7	24	16.2	8.2	7.2	5.5	
<b>1982</b>								
l/s	1043.1	123.5	533.6	331.3	178.8	177	153.9	2541.2
m <sup>3</sup> /d	90120	10670	46100	28620	15450	15290	13300	219550
%	41	4.9	21	13	7	7	6.1	
<b>1983</b>								
l/s	999.9	86.6	607.1	331.6	166.6	210.5	139.8	2542.1
m <sup>3</sup> /d	86390	7480	52450	28650	14390	18190	12080	219630
%	39.3	3.4	23.9	13	6.6	8.3	5.5	
<b>1984</b>								
l/s	1000	62.3	562.3	311.4	311.4	174.4	179.7	2523
m <sup>3</sup> /d	86400	5380	48580	26900	15070	20120	15530	217980
%	39.6	2.5	22.3	12.3	12.3	9.2	7.1	

\* Caudal máximo tratado por la planta.



Gráfica 1.5  
Producción Porcentual Anual por Sistema  
Durante 1,996



## 2 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE FILTRACION

El agua de los sedimentadores llega a los filtros a través de una tubería de conexión, de 48" de diámetro, la cual es flexible debido a una falla geológica que se encontró durante la construcción. Esta agua contiene partículas muy finas de sólidos en suspensión tales como microflóculos, bacterias y microorganismos que no lograron sedimentar.

En general, el propósito de los filtros consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. La filtración es uno de los procesos finales que se realiza en la planta de agua Lo de Coy y conjuntamente con la desinfección es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los patrones de potabilidad.

Los seis filtros son estructuras de concreto, cuya forma puede apreciarse en las gráficas 2.1, 2.2 y 2.3. El área filtrante de cada uno es de 78.08 metros cuadrados (6.10 x 12.80 metros).

### 2.1 Medio Filtrante

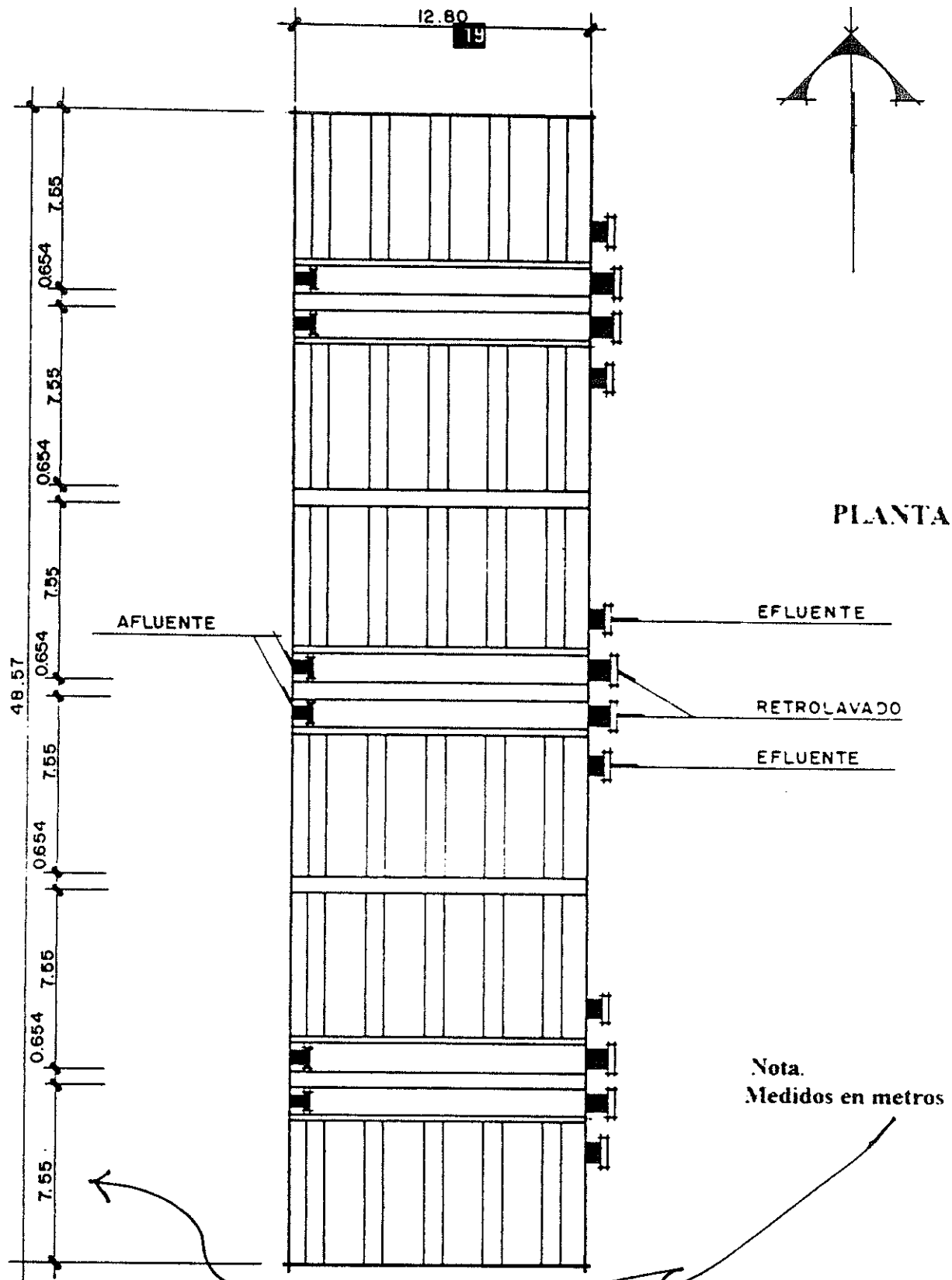
El medio filtrante está compuesto de antracita y arena soportada por grava. Para su selección y colocación se siguieron las normas de la American Water Works Association (AWWA) para material filtrante (AWWA B100-72); las características de cada una de las capas se analizarán en el capítulo Cuatro.

### 2.2 Fondo Filtrante

Todo el lecho filtrante está soportado por un falso fondo del tipo Hydro-Cone de Wheeler, fabricado por BIF. El propósito de este fondo es, además de soportar el lecho, proveer una distribución adecuada del agua de retrolavado. El fondo consiste en losetas prefabricadas de concreto de 24" x 24" y de 3" de espesor, las cuales tienen 9 depresiones en forma de embudo; en cada depresión hay un cono de plástico relleno de concreto.

### 2.3 Funcionamiento de los Filtros

El agua sedimentada llega por medio de una tubería de acero hasta el "canal de entrada a filtros" el cual se comunica con los filtros propiamente dichos por medio de la válvula VM-1 (ver gráficas No. 2.2 y 2.3), la cual descarga en el "colector de agua de lavado" alimentando las "canaletas" y éstas a su vez descargan sobre el lecho filtrante. El agua filtrada sale por la VM-2 al "colector de agua filtrada" y de éste, por un vertedero cae al "canal de agua filtrada", donde se une al caudal de todos los filtros y descarga al tanque de agua clara, pasando por el medidor tipo canaleta Parshal, dispositivo que determina el caudal que está produciendo la batería de filtros. (ver gráficas 2.1, 2.2 y 2.3). A todo lo largo del documento las iniciales VM significan Válvula de Mariposa.



GRAFICA 2.1

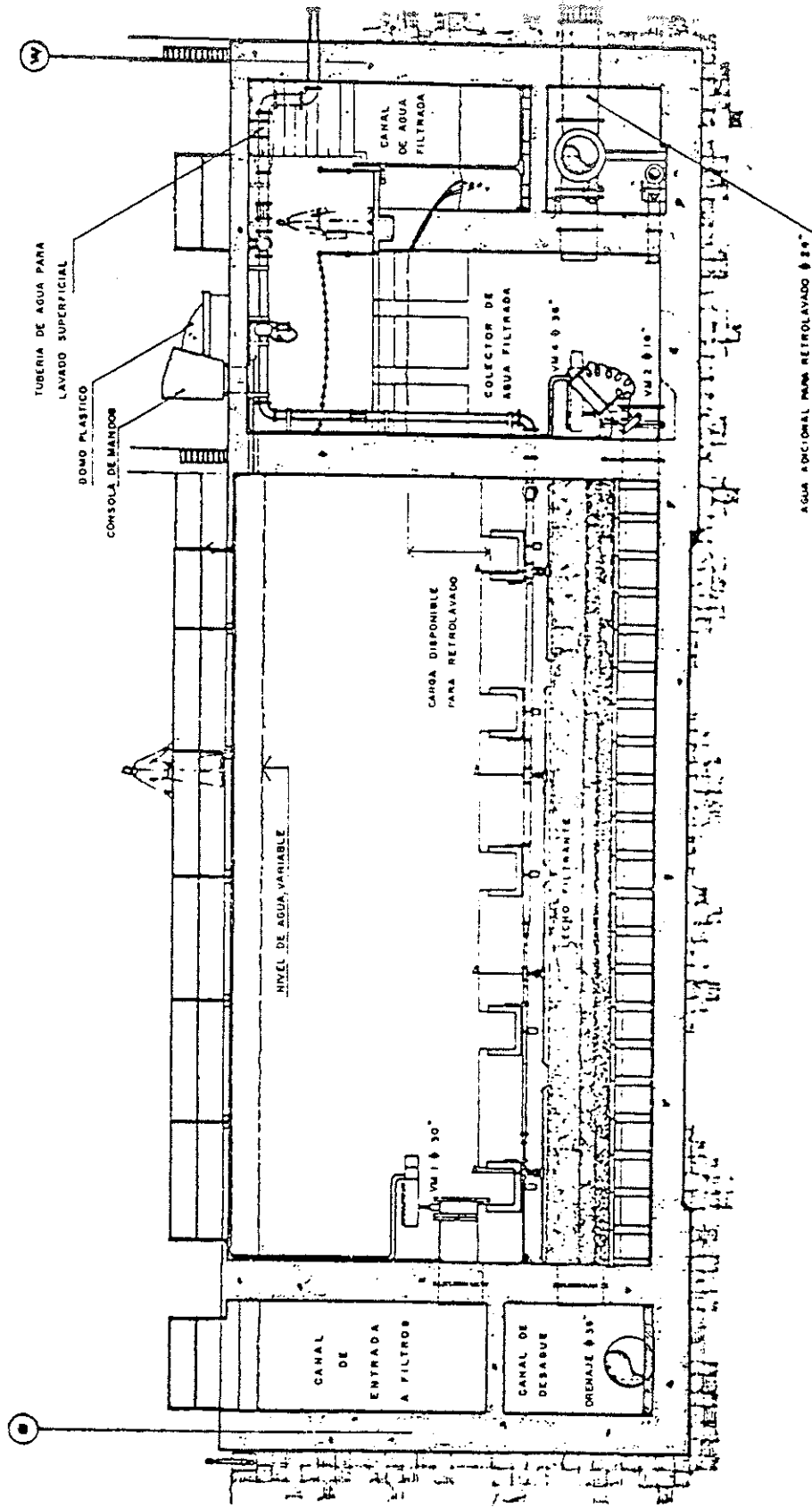
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA  
**DIRECCION DE PLANIFICACION**  
 UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO

CALCULO  
 DIBUJO : Bc ROBERTO BARRIOS  
 REVISO : ING. INF JORGE MARTINEZ

FECHA : OCTUBRE '95  
 ESCALA : 1 : 25

**BATERIA DE FILTROS  
 Y VALVULAS INDICADAS**

# SECCION DEL FILTRO



## GRAFICA 2.2

REF. TOMADO DEL MANUAL DE OPERACIONES





Los filtros y los tanques sedimentadores son, en la planta Lo de Coy, hidráulicamente continuos, de manera que cualquier variación en el nivel de agua en los filtros es mitigada por el área extremadamente grande de los sedimentadores.

El control de caudal de salida de los filtros es manual. La continuidad hidráulica permite errores humanos que no hacen crítico ningún ajuste.

Los filtros deben calibrarse cada vez que se les cambie el material filtrante, para conocer la relación entre pérdida de carga del lecho a diversos caudales.

## 2.4 Equipos y Controles

### 2.4.1 Consolas

Cada filtro tiene una consola, desde la cual pueden ejecutarse todas las operaciones necesarias, tales como cierre y apertura de válvulas de mariposa y control de la pérdida de carga (ver gráfica número 2.4).

En la parte superior de las consolas están ubicadas las carátulas indicadoras de la posición de cada válvula (abierta - cerrada), excepto el indicador de la VM-2 que indica el porcentaje de apertura y los manuales de accionamiento de las válvulas de tres vías, que operan hidráulicamente las válvulas de mariposa.

En este mismo panel está el indicador de pérdida de carga, que actualmente no funciona por deficiencias en el sistema de aire comprimido.

### 2.4.2 Válvula de Efluente (VM-2)

Esta válvula es la que regula el caudal de salida del filtro; para su accionamiento, al igual que las demás válvulas de los filtros, tiene instalado un mecanismo hidráulico que permite girar el disco a cualquier posición y sostenerla. En la consola está ubicado el indicador de posición de la válvula, se deberá accionar esta válvula a manera de controlar el caudal de filtrado; en otras palabras, esta válvula es el controlador manual de caudal (ver gráficas Nos 2.1, 2.2, 2.3, y 2.4).

### 2.4.3 Válvulas (VM-1, VM-3, VM-4, y VM-5)

La función de cada una de estas válvulas es:

VM-1	Afluente
VM-2	Efluente
VM-3	Drenaje de Agua de Lavado
VM-4	Retrolavado
VM-5	Lavado Superficial



Las letras a, b, c, d, e y f de cada válvula corresponden al número del filtro donde están instaladas. Por ejemplo VM-4a corresponde a la válvula de retrolavado del filtro 1. (Ver gráficas 2.3 y 2.4)

#### 2.4.4 Indicador de Pérdida de Carga

Este indicador consiste en un sistema de aire comprimido que burbujea en las columnas de medición conectadas a las partes superior e inferior del lecho filtrante; la diferencia de nivel en ambas columnas se lee en el instrumento indicador instalado sobre la consola, como se mencionó anteriormente este indicador no funciona por deficiencias en el sistema de aire comprimido (ver Gráfica No. 2.4).

### 2.5 Operación de los Filtros

A continuación se describen las operaciones necesarias para la puesta en marcha de las unidades de filtración de la planta de tratamiento de agua potable Lo de Coy, según el manual de operaciones. Están descritos de esta manera puesto que son los criterios actuales de operación y por lo tanto prevalecieron durante los ensayos realizados.

Sin embargo según lo observado durante los ensayos y con las experiencia de operación de la planta, se harán las recomendaciones necesarias tendientes a mejorar los procedimientos.

Procedimientos:

- Decidir el caudal que se desea tratar en la Planta. Con base en las características físicas del Agua Cruda.
- Graduar la válvula de la Caja de Entrada (Ver Gráfica 1.2) a la Planta hasta que el Parshal Principal indique el caudal deseado.
- Puesta en marcha (VM-1)
  - ◆ Verificar que las Válvulas del Afluente de cada filtro estén abiertos. (Ver gráficas 2.3 y 2.4)
  - ◆ Graduar las Válvulas del Efluente (VM-2) de cada filtro a manera que:
    - ⇒ La pérdida de carga, al inicio de la carrera, en ninguno de los filtros exceda 0.30 metros. Esto se realiza Graduando la Válvula del Efluente VM-2 (ver gráficas 2.2 y 2.3)
    - ⇒ La carga de filtración en ninguno de los filtros exceda de 293 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día (265 lts/seg./filtro).
    - ⇒ La suma de los caudales producidos en todos los filtros (medido por el Parshall de Agua Filtrada) sea similar al caudal de Agua Cruda (medida por el Parshall Principal).

- ⇒ Observar a través del domo de plástico y con la luz de fondo encendida que no esté pasando flóculo, en cuyo caso deberá proceder a lavar el filtro. (actualmente no hay iluminación en el fondo de la caja del efluente del filtro.)
- ⇒ Observar el incremento de pérdida de carga y al aumentar ésta a un valor preestablecido durante las pruebas, abrir la Válvula del Efluente (VM-2 Ver gráficas 2.2 y 2.3) a manera que pase mayor caudal.

Actualmente no es posible medir la pérdida de carga durante la carrera de filtración, por lo que se recomienda rehabilitar los instrumentos que permitan realizar dicha medición para la correcta operación de los filtros.

Debe tomarse en cuenta que hacer coincidir exactamente los caudales de entrada y salida es prácticamente imposible debido a las inexactitudes inherentes a los medidores y a la variación constante de caudal a través de los filtros, así como a las variaciones en el caudal de agua cruda.

## 2.6 Lavado de Filtros

Los filtros al estar cumpliendo la función de retener las partículas en suspensión que no fueron eliminadas en la sedimentación, acumula este material extraño en el lecho filtrante, el cual tiende a evitar el flujo de agua. Llega así un momento en el que es necesario lavar el material filtrante, para lo cual en la Planta Lo de Coy, hay dos sistemas: retrolavado y lavado superficial.

Es recomendable efectuar el lavado antes que la pérdida de carga a través del lecho alcance 2.40 metros, como se mencionó anteriormente el indicador de pérdida de carga no funciona, por lo que los operadores deberían usar los siguientes criterios para decidir lavar un filtro:

- ⇒ Cuando la carrera del filtro rebasa las 40 horas
- ⇒ Cuando la lectura del Parshal que mide el caudal de agua filtrada, tiene una diferencia considerable con la lectura del Parshal que mide el caudal que está ingresando a la planta.
- ⇒ Cuando el nivel en las cajas de los filtros es excesivo y hay peligro de alcanzar el vertedero de demasías instalado en la entrada del canal que distribuye el caudal a los filtros.

### 2.6.1 Retrolavado

El retrolavado se consigue haciendo circular el agua en sentido inverso; para ello, cerrando las válvulas de afluente y de efluente y abriendo las válvulas de drenaje y de retrolavado se consigue suficiente agua de los demás colectores de agua filtrada, con una carga de 1.50m que es la altura entre el vertedero y la parte superior de las canaletas.

El caudal de retrolavado es función del caudal que estén produciendo los otros filtros, de la pérdida de carga en la válvula de admisión (VM-4) y de las pérdidas en el fondo falso y lecho filtrante expandido. En caso que el nivel de agua baje de la cota del vertedero, en ambos

extremos del colector de agua filtrada hay instalados sensores que accionan el arrancador de una de las bombas de retrolavado, la cual bombea 0.523 m<sup>3</sup>/seg. y que suple el caudal que los otros filtros no puedan proporcionar.

### 2.6.2 Lavado Superficial

Este método de lavado complementa el retrolavado. El equipo instalado consiste de distribuidores rotativos, constituidos por brazos horizontales con boquillas localizados exactamente sobre la superficie del lecho filtrante. Las boquillas apuntan hacia abajo con un ángulo aproximado de 45° hacia la superficie de la antracita. La agitación producida por los chorros de agua a presión sirve para fracturar la capa superficial y para frotar los granos de antracita unos contra otros a manera de eliminar los materiales extraños.

Asimismo los chorros proveen la energía necesaria para hacer rotar los brazos, la rotación de las "banderas" que sobresalen en la superficie indicarán que el sistema está trabajando. Deberá graduarse la válvula VM-9 ubicada en el ambiente donde se encuentra el colector de agua filtrada, a manera que por el medidor orificio-rotámetro pase un caudal de 41 lts/seg, este dispositivo no funciona por falta de mantenimiento adecuado.

### 2.6.3 Operación de Lavado de Filtros

La operación de lavado se realiza con la siguiente secuencia :

NOTA : Cuando se haga mención de las válvulas, se podrán observar en las gráficas 2.2 y 2.3 .

- Preparar el funcionamiento del sistema de recuperación de agua de lavado.
- Cerrar la válvula del afluente y esperar que el nivel de agua en el filtro sea igual al nivel de agua en el colector de agua filtrada.
- Cerrar la válvula de efluente.
- Abrir la válvula de drenaje VM-3, dejando que el nivel de agua llegue hasta el borde superior de las canaletas.(Ver gráficas 2.2 y 2.3)
- Abrir la válvula de lavado superficial VM-5 y observar la rotación de las banderas.
- Tres minutos después de la operación anterior, abrir lentamente la válvula de retrolavado VM-4. El retrolavado deberá hacerse durante 12 minutos según la evaluación realizada.
- Cerrar la válvula VM-5 de lavado superficial unos 2 minutos antes de terminar con la operación de retrolavado.

- Cerrar la válvula de evacuación de agua de lavado VM-3.
- Esperar que el nivel de agua en el filtro cubra el operador hidráulico de la VM-1.
- Cerrar la válvula de retrolavado VM-4 .
- Abrir lentamente la válvula de afluente VM-1 a un cuarto (1/4) de su apertura total y esperar a que el nivel de agua en la caja del filtro sea igual al de los demás, entonces abrirla totalmente.
- Abrir la válvula de efluente VM-2.

## 2.7 Ayuda de Filtración

En caso se presente una mayor carga de sólidos en los filtros, por:

- a) Cargas de Filtración muy altas (mayores de 200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día)
- b) Disminución en la dosificación de coagulantes con el consiguiente decremento en remoción de sólidos en los sedimentos.

Pueden emplearse polielectrolitos como ayuda de filtración, en dosis de 0.002 a 0.1 mg./l o las que indique el fabricante del producto disponible en bodega.

## 2.8 Descripción del Sistema de Recuperación de Agua de Lavado

Este sistema recoge el agua de lavado de filtros desde la salida del canal de desagüe, transportándola por una tubería de concreto hasta los tanques ubicados en la parte nor-oriental del terreno de la planta Lo de Coy. Asimismo, parte del desagüe de los sedimentadores está conectado a este sistema.

La tubería de 30" de diámetro llega hasta una caja de distribución, de la cual parten dos tuberías, una hacia cada tanque; al final de cada una de ellas hay una compuerta, su posición de abierta o cerrada permite o no el ingreso del agua a los tanques.

Los tanques tienen un volumen útil de 591 m<sup>3</sup>, lo cual les permite recibir el lavado de un filtro con un caudal de 1 m<sup>3</sup>/seg durante 10 minutos. En caso el caudal fuera mayor, al llegar a cierto nivel rebalsan automáticamente.

El agua puede dejarse sedimentar durante el período comprendido entre el lavado de dos filtros, después de lo cual se deberá operar el sistema de bombeo hacia el canal de entrada de la planta.

Se ha previsto la posibilidad de agregar polielectrolitos como una ayuda de sedimentación a la salida del agua de lavado de los filtros. Las bombas son de arranque manual y local.

Las bombas, de turbina vertical, según las condiciones de diseño, deben impulsar 2,600 gpm (164 lts/seg), con lo cual se puede vaciar uno de los tanques en 60 minutos.

## 2.9 Colectores de Agua Filtrada

Cada filtro tiene un colector de agua filtrada (ver gráfica 2.2) en el cual se encuentran ubicadas las válvulas VM-2 y VM-4 de efluente y retrolavado respectivamente. Dicho colector se puede aislar en caso se desee efectuar alguna reparación a los equipos instalados dentro de éste o que sea necesaria su limpieza.



### 3 TEORIA DE ENSAYOS DE FILTRACION

#### 3.1 Características del Lecho Filtrante

Las características del lecho filtrante que mayor influencia tienen en la eficiencia de los filtros son su granulometría, la porosidad del lecho filtrante y su profundidad.

##### 3.1.1 Granulometría y Espesor del Medio Filtrante

###### 3.1.1.1 Objetivo

Determinar el tamaño de los granos que componen una muestra dada y el espesor del medio filtrante.

###### 3.1.1.2 Equipo y Materiales

Un juego de mallas de la serie Tyler, y una vara metálica de 1/2" de diámetro.

###### 3.1.1.3 Procedimiento

- Obtener, secar y pesar la muestra de material filtrante.
- Se coloca la muestra en el juego de mallas Tyler, en el recipiente superior de mayor abertura y se agita el conjunto mecánica o manualmente, hasta que los diversos granos pasen a través de tantas mallas como su tamaño se lo permita.
- Se pesan las porciones de muestra retenidas en cada malla y se calculan como porcentajes de la muestra total.
- Los valores obtenidos se dibujan en un papel semilogarítmico, colocando los porcentajes en peso acumulado en el eje de las ordenadas (escala natural) y el tamaño de los granos en milímetros en el eje de las abscisas (escala logarítmica).
- Después de lavado el filtro, se introduce la varilla metálica de 1/2" de diámetro hasta encontrar la capa de grava y se determina la longitud de la porción introducida de la varilla.
- Se repite esta operación en varios puntos del Lecho Filtrante.

### 3.1.2 Bolas de Lodo

La presencia de bolas de lodo indica el grado de deterioro del Lecho filtrante, que se puede deber a un lavado deficiente, que no remueve el material retenido en el Lecho, o a una frecuencia inadecuada de retrolavados.

#### 3.1.2.1 Objetivo

Determinar la cantidad de bolas de lodo existentes en el Lecho Filtrante.

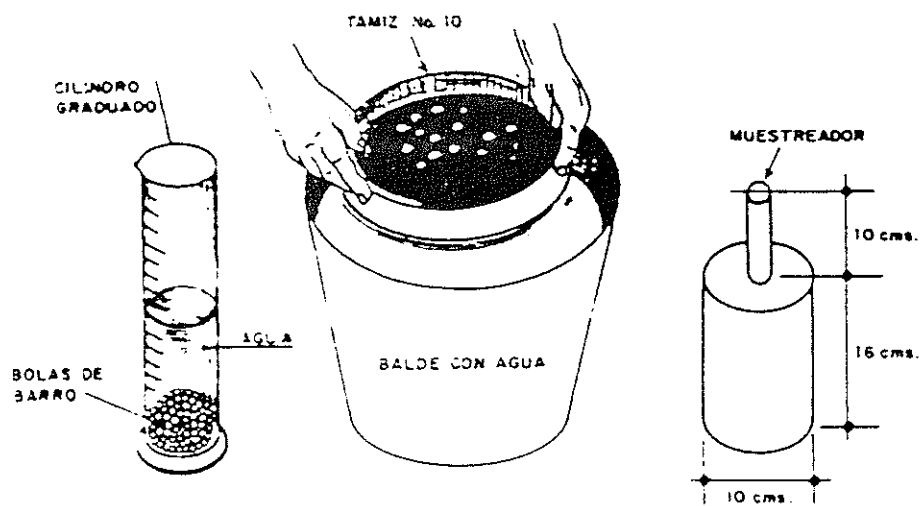
#### 3.1.2.2 Equipo y Materiales

Un muestreador como el indicado en la Gráfica 3.1, consistente en un cilindro metálico de 75 mm de diámetro interno y una altura aproximada de 150 mm, una malla metálica No. 10 (2 mm de abertura) y una probeta de 500 ml.

#### 3.1.2.3 Procedimiento

- Lavar normalmente el filtro y drenar el agua hasta un nivel de 20 cm por debajo de la superficie de la arena.
- Determinar el volumen (  $\nabla$  ) del muestreador.
- Introducir el muestreador por lo menos en cuatro puntos para extraer un número equivalente de muestras. Retirarlo con cuidado para que no se caiga el material y colocar todas las muestras en un solo recipiente
- Tomar el material por partes y colocarlo en un tamiz, el cual se sumerge en un balde de agua. Se mueve el tamiz suavemente para que desprenda la arena y queden retenidas las bolas de lodo.
- Estas se transfieren a la probeta, a la que se ha colocado un determinado volumen de agua.
- El volumen de bolas de lodo estará dado por el aumento de volumen del agua contenida en la probeta.
- El resultado se expresa en porcentaje con respecto al volumen de muestra procesada:

$$\% \text{ bolas de lodo} = \frac{\text{Incremento de volumen en la probeta} \times 100}{\text{Volumen de la muestra}}$$



EQUIPO PARA REALIZAR EL ENSAYO DE BOLAS DE LODO

GRAFICA 3.1

MANILLA

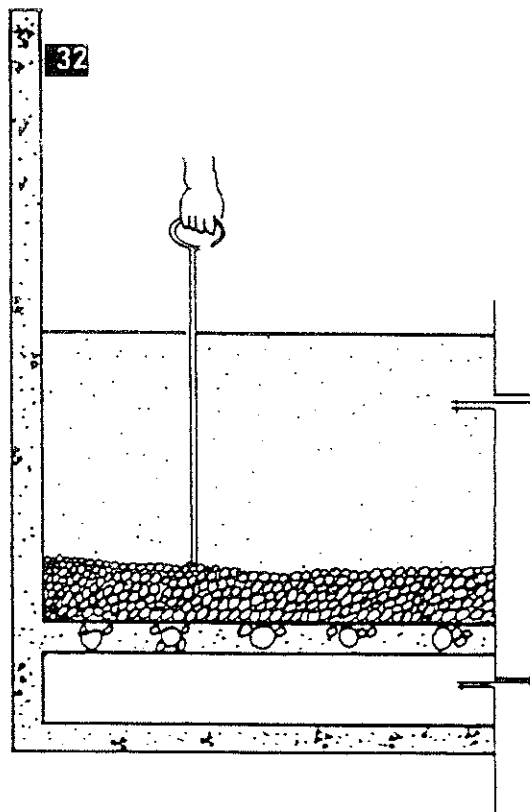


Ø 1/2"

GRADUACION

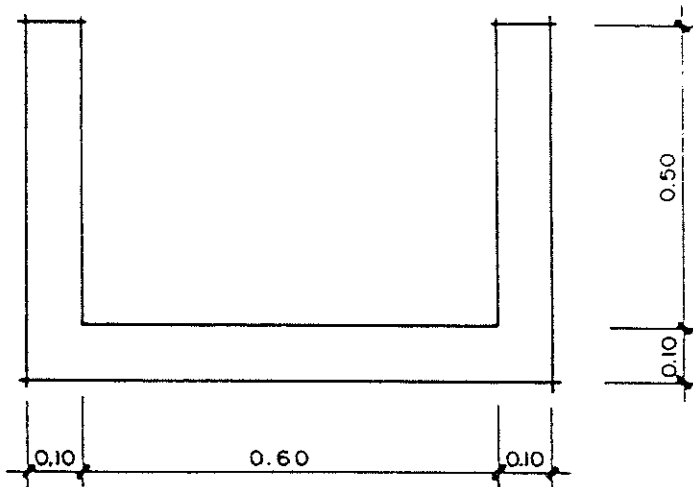
PUNTA PLANA

32



**PERFIL DE GRAVA**

SIN ESCALA



**CANALETA**

SIN ESCALA

GRAFICA 3.2

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

**DIRECCION DE PLANIFICACION**

UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO

CALCULO :

DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS

REVISO : ING. INE JORGE MARTINEZ

FECHA : OCTUBRE '95

ESCALA : INDICADA

**PERFIL DE GRAVA  
Y CANALETA**

## 3.2 Características del Proceso de Lavado

La mayor parte de los problemas que ocurren en la operación de los filtros está relacionada con el mantenimiento del lecho filtrante. Por eso se puede decir que un filtro es **tan bueno como lo es su procedimiento de lavado**.

La evaluación del sistema de lavado se inicia con una observación visual, verificando el aspecto de la superficie del filtro.

### 3.2.1 Velocidad del Lavado del Filtro

#### 3.2.1.1 Objetivo

Determinar el caudal y la velocidad de lavado con que está operando el **filtro**.

#### 3.2.1.2 Equipo y Materiales

Una regla graduada y un cronómetro.

#### 3.2.1.3 Procedimiento

- Se fija la regla graduada a una de las paredes del filtro.
- Cerrar la válvula de ingreso de agua sedimentada y cuando el nivel del **agua** descienda hasta el medio filtrante cerrar la válvula de salida de agua filtrada.
- Abrir la válvula de desagüe y la de ingreso de agua de lavado.
- Medir el tiempo (T) que tarda en subir el nivel de agua en la **caja de filtro una altura H**.

Calcular la velocidad y el caudal de lavado:

$$V_L = \frac{H}{T}$$

$$Q = \frac{A \times H}{T}$$

Siendo:

V<sub>L</sub> = Velocidad de lavado  
 A = Area del filtro (m<sup>2</sup>)

H	=	Variación de la altura del agua (m)
T	=	Tiempo en que se incrementa una altura H (minutos)
Q	=	Caudal de lavado

## 3.2.2 Expansión del lecho Filtrante

### 3.2.2.1 Objetivo

Determinar el porcentaje de aumento de espesor del Lecho Filtrante durante la operación de lavado.

### 3.2.2.2 Equipo y Materiales

Varilla metálica con cajitas soldadas a distancia de 5 cm entre los bordes de las cajitas (ver Gráfica No. 3.9)

### 3.2.2.3 Procedimiento

- Fijar la varilla dentro del filtro colocando el extremo inferior encima del lecho filtrante.
- Proceder a efectuar el lavado normalmente.
- Medir la distancia entre la caja más alta que contenga arena y el extremo inferior de la varilla ( $\Delta h$ ).
- Determinar el porcentaje de expansión del Lecho Filtrante:

$$\% = \frac{\Delta h \times 100}{h}$$

### 3.2.3 Duración del Proceso de Lavado

#### 3.2.3.1 Objetivo

Determinar cómo varía la turbiedad del agua de lavado durante el proceso, a fin de determinar el tiempo óptimo en que debe ejecutarse esta operación.

#### 3.2.3.2 Equipo y Materiales

15 frascos de 150 ml, un cronómetro y un turbidímetro.

#### 3.2.3.3 Procedimiento

- Numerar los frascos del 1 al 15.
- Iniciar el lavado normal del filtro y tan pronto como las canaletas empiecen a conducir agua del lavado, tomar la primera muestra.
- Continuar llenando los frascos cada minuto hasta completar los 15.
- Determinar con el turbidímetro las turbiedades de las muestras y dibujar la curva turbiedad versus tiempo en papel logarítmico- aritmético de tres ciclos.
- Determinar en la curva el punto de inflexión inferior en donde ésta tiende a ser asintótica con respecto al eje horizontal. El tiempo óptimo de lavado corresponderá al coincidente con el punto de inflexión. A partir de este momento no se gana nada con prolongar el proceso.

### 3.2.4 Perfil del Lecho de Grava

Los movimientos en el lecho de grava son causados por deficiencias operativas:

- (a) En el sistema de drenaje
- (b) Cuando no se distribuye bien el agua de lavado
- (c) Por aberturas muy rápidas de las válvulas de entrada del agua de lavado
- (d) Por entrada de aire en los drenes de filtro cuando se vacía por mantenimiento.

### 3.2.4.1 Objetivo

Determinar la magnitud de los movimientos en la capa de grava.

### 3.2.4.2 Equipo y Materiales

Varilla metálica graduada.

### 3.2.4.3 Procedimiento

Obtener planos detallados del filtro.

ver gráficas:

3.2	procedimiento general
3.3	filtro número 1
3.4	filtro número 2
3.5	filtro número 3
3.6	filtro número 4
3.7	filtro número 5
3.8	filtro número 6

- Dibujar un esquema en planta del filtro, con la posición de las canaletas de lavado y canales de desagüe bien acotados.
- Marcar en el esquema una serie de puntos acotados a lo largo y ancho del filtro.
- Introducir la varilla en cada uno de estos puntos hasta tocar la grava.
- Dejar el nivel del agua 10 cm sobre el lecho para tomarlo de referencia y determinar la profundidad en la varilla.
- Llevar los datos a un plano y con ellos dibujar las curvas de nivel cada a centímetro, de este modo puede estudiarse la posición exacta que tiene la grava dentro del filtro.

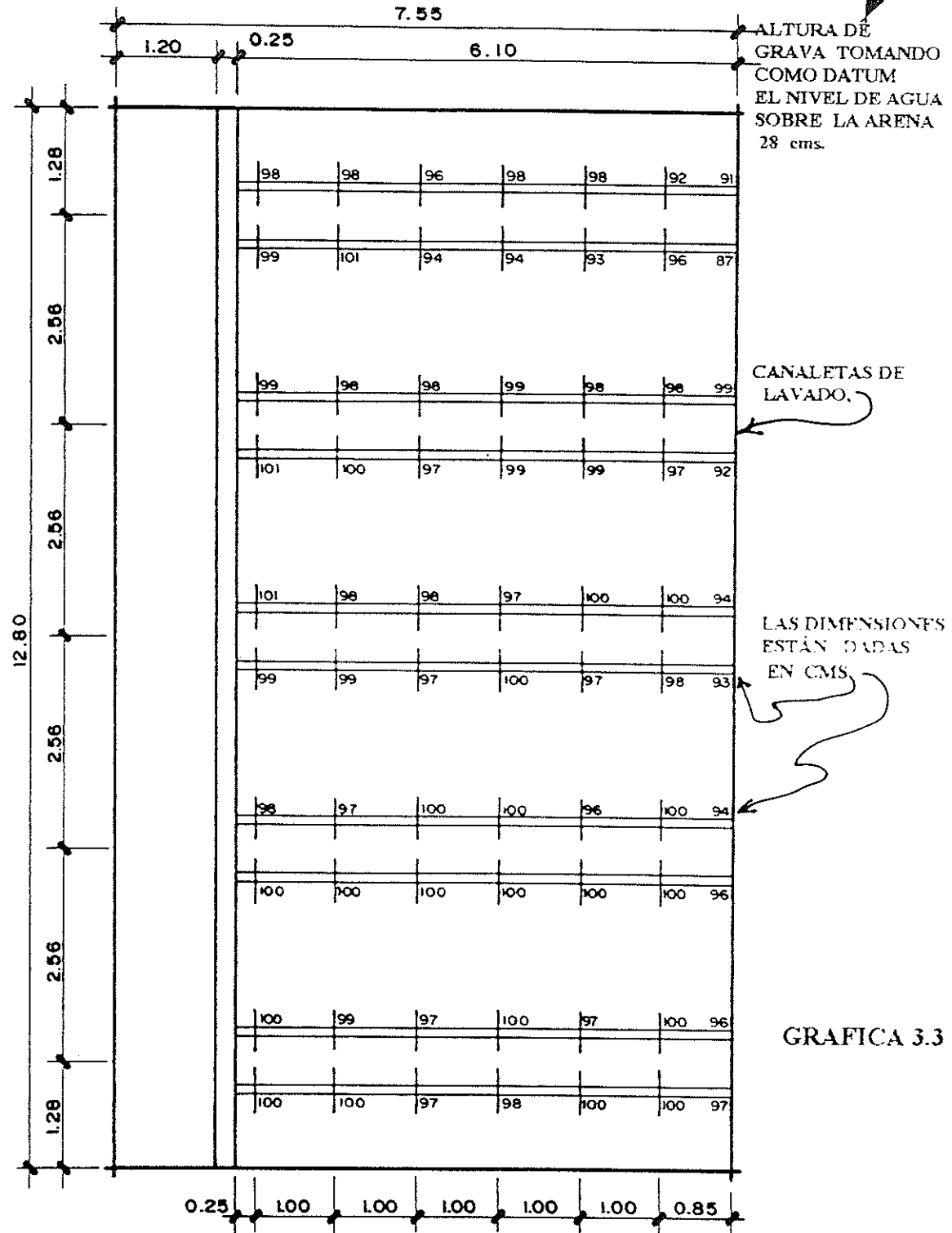
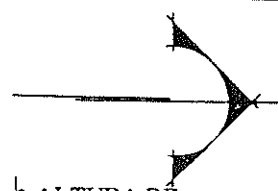
## 3.3 Características del Proceso de Filtración

### 3.3.1 Velocidad y Caudal de Filtración

#### 3.3.1.1 Objetivo

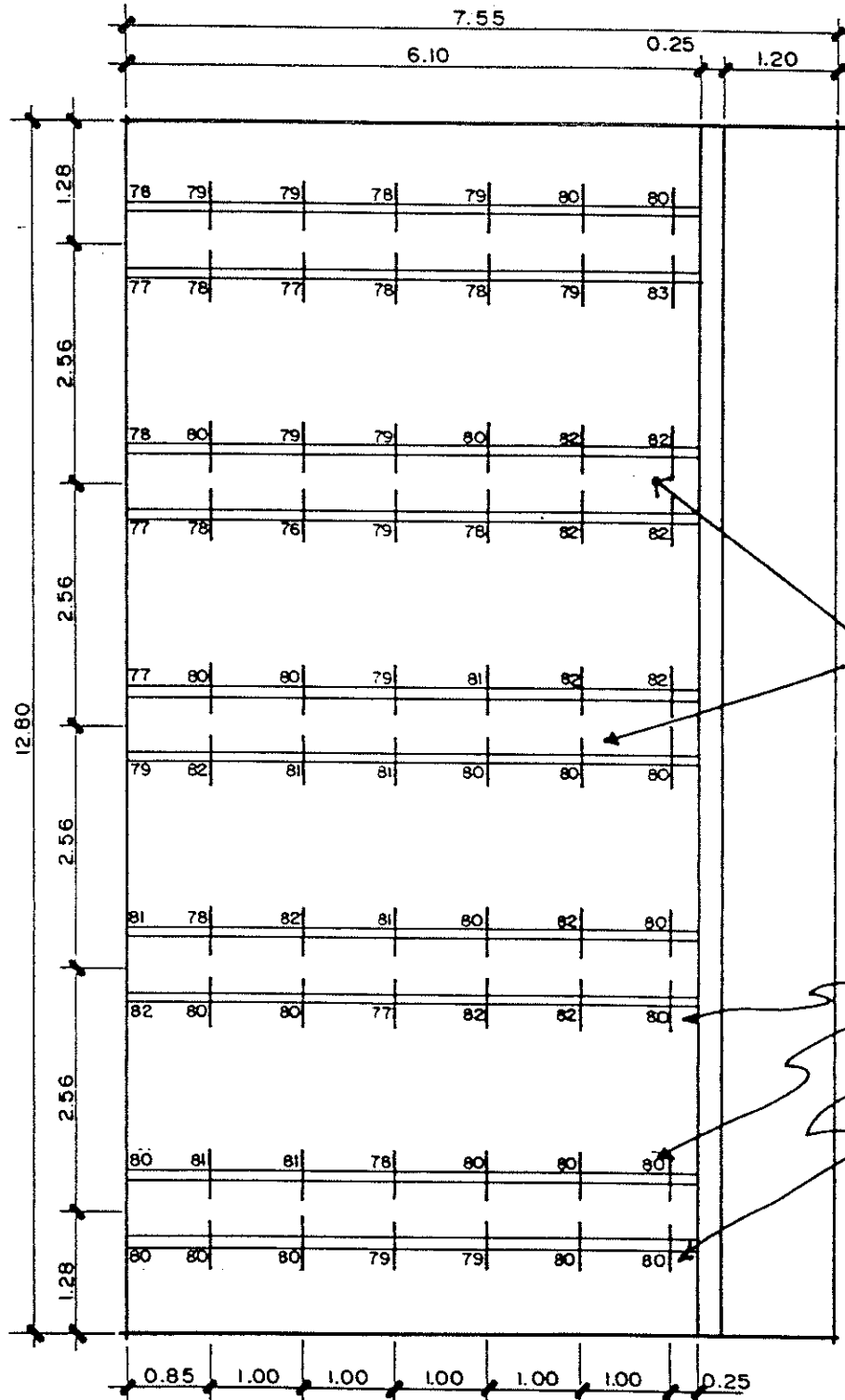
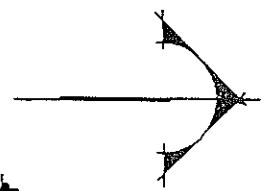
Determinar la velocidad y el caudal con el que está operando cada unidad.





GRAFICA 3.3

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA <b>DIRECCION DE PLANIFICACION</b> UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO		CALCULO : . DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS REVISO : ING. INF JORGE MARTINEZ	
FECHA : SEPTIEMBRE 95 ESCALA : 1 : 75	<b>FILTRO # 1</b>	<b>UBICACION DE PUNTOS          PARA DETERMINAR LA          ALTURA DE GRAVA</b>	



GRAFICA 3.4

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA  
**DIRECCION DE PLANIFICACION**  
 UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO

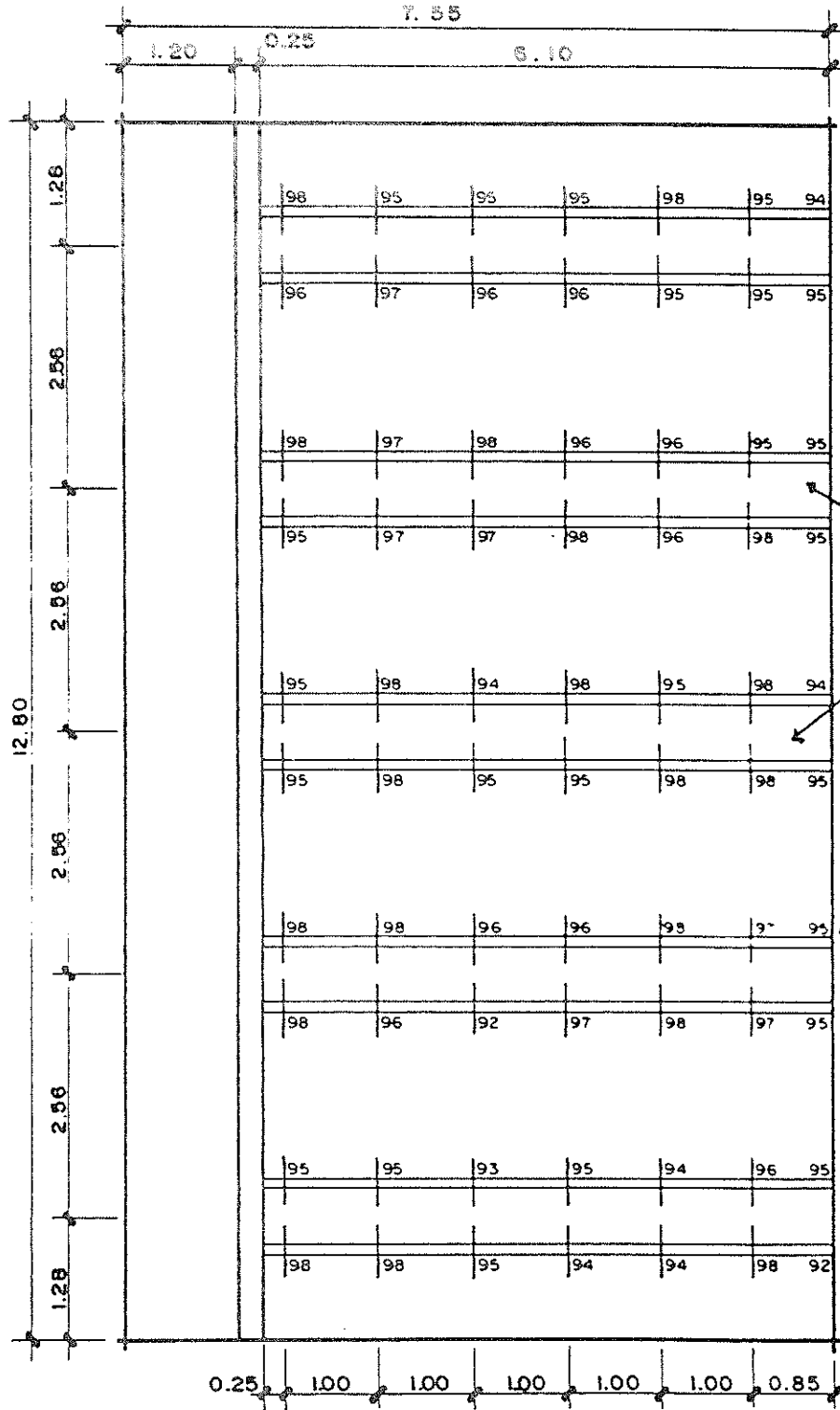
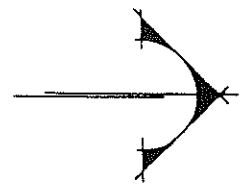
CALCULO :  
 DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS  
 REVISO : ING. INF. JORGE MARTINEZ

FECHA : OCTUBRE '95  
 ESCALA : 1 : 75

**FILTRO # 2**

**UBICACION DE PUNTOS  
 PARA DETERMINAR LA  
 ALTURA DE GRAVA**

100



ALtura DE GRAVA TOMANDO COMO DATUM EL NIVEL DE AGUA SOBRE LA ARENA 28 cms.

CAVALETAS DE LAVADO.

LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN CMS.

GRAFICA 3.5

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

**DIRECCION DE PLANIFICACION**

UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO

CALCULO :

DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS

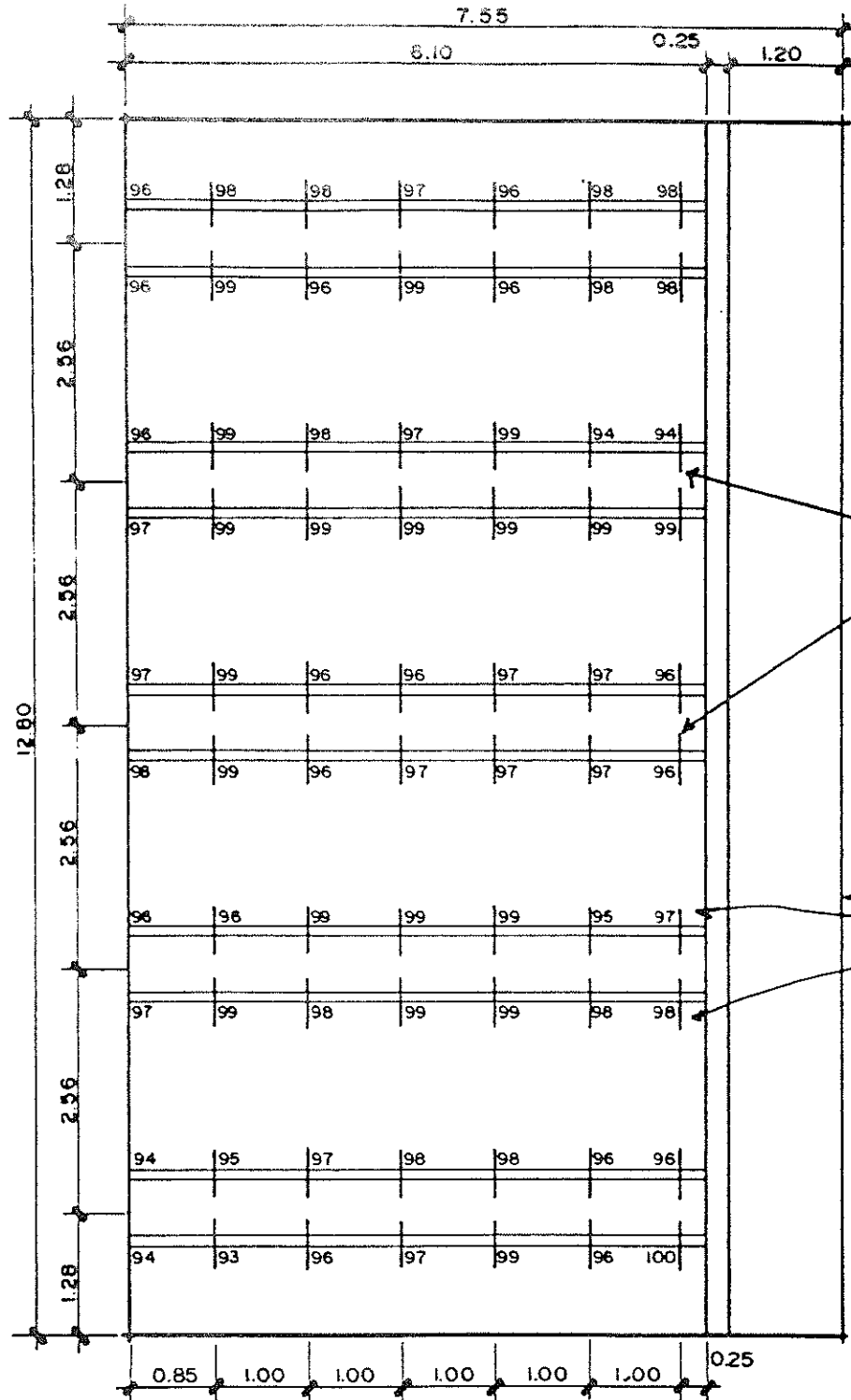
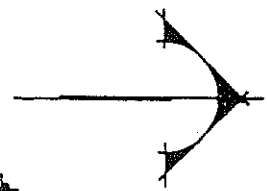
REVISO : ING. INF JORGE MARTINEZ

FECHA : SEPTIEMBRE '95

ESCALA : 1 : 75

**FILTRO # 3**

**UBICACION DE PUNTOS PARA DETERMINAR LA ALTURA DE GRAVA**



ALTURA DE GRAVA TOMANDO COMO DATUM EL NIVEL DE AGUA SOBRE LA ARENA 36 cms.

CANALETAS DE LAVADO.

LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN CMS.

GRAFICA 3.6

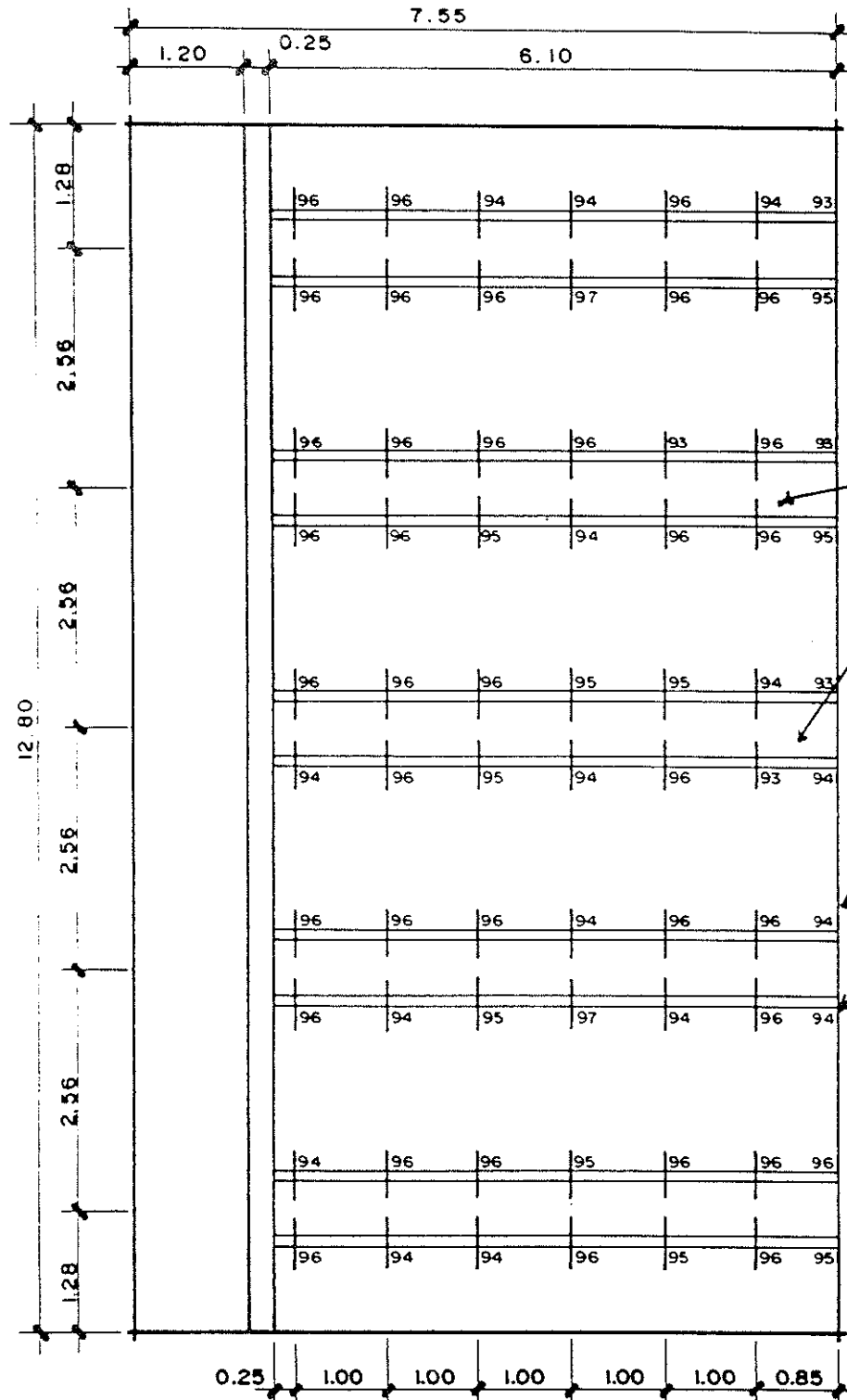
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA  
**DIRECCION DE PLANIFICACION**  
 UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO

CALCULO :  
 DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS  
 REVISO : ING. INF. JORGE MARTINEZ

FECHA : OCTUBRE '95  
 ESCALA : 1 : 75

**FILTRO # 4**

**UBICACION DE PUNTOS  
 PARA DETERMINAR LA  
 ALTURA DE GRAVA**



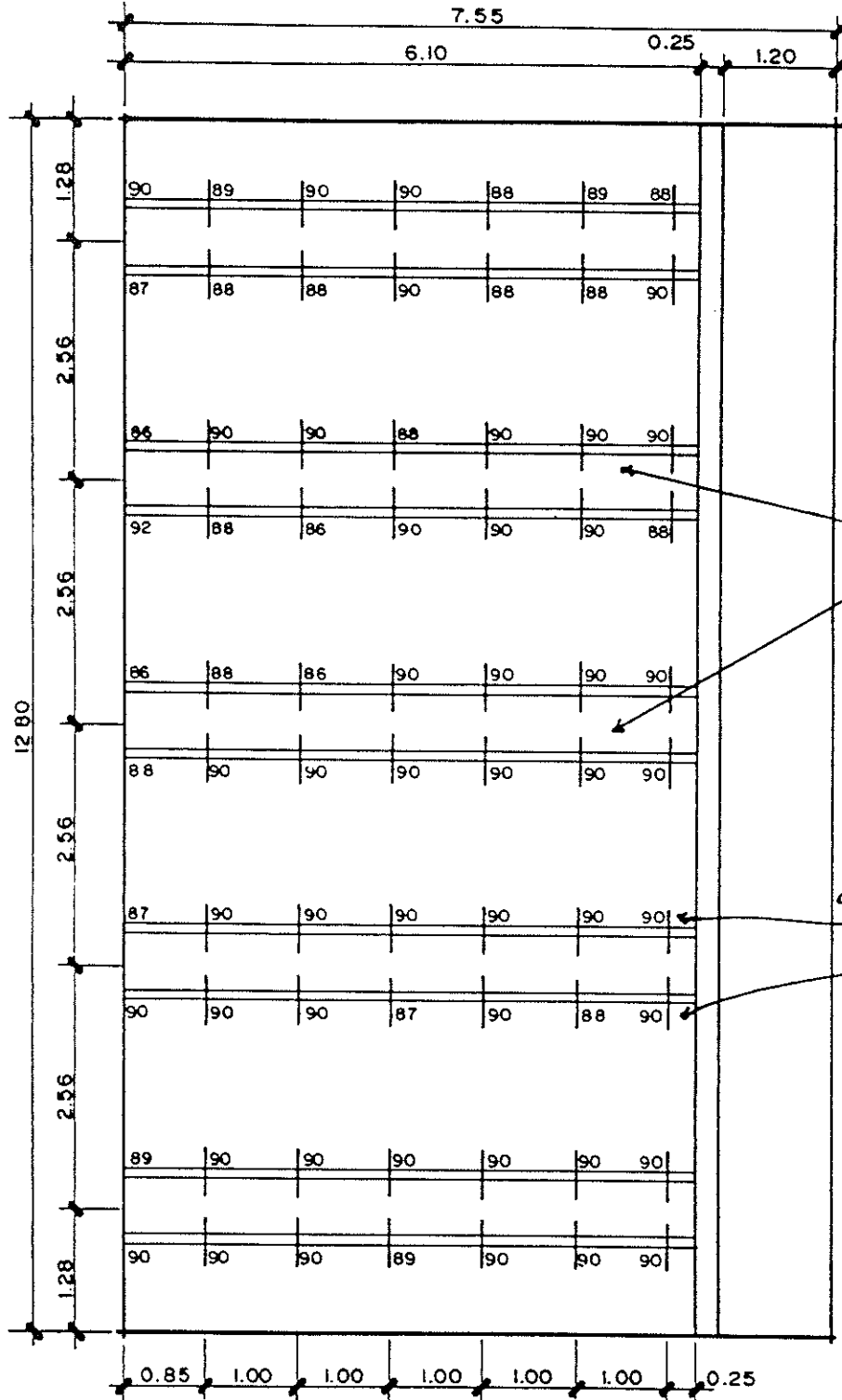
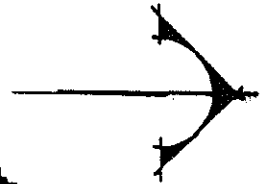
ALTURA DE GRAVA TOMANDO COMO DATUM EL NIVEL DE AGUA SOBRE LA ARENA 36 cms.

CANALETAS DE LAVADO

LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN CMS.

GRAFICA 3.7

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA		CALCULO :	
<b>DIRECCION DE PLANIFICACION</b>		DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS	
UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO		REVISO : ING. INF. JORGE MARTINEZ	
FECHA : OCTUBRE '95	<b>FILTRO # 5</b>	<b>UBICACION DE PUNTOS PARA DETERMINAR LA ALTURA DE GRAVA</b>	
ESCALA : 1 : 7.5			



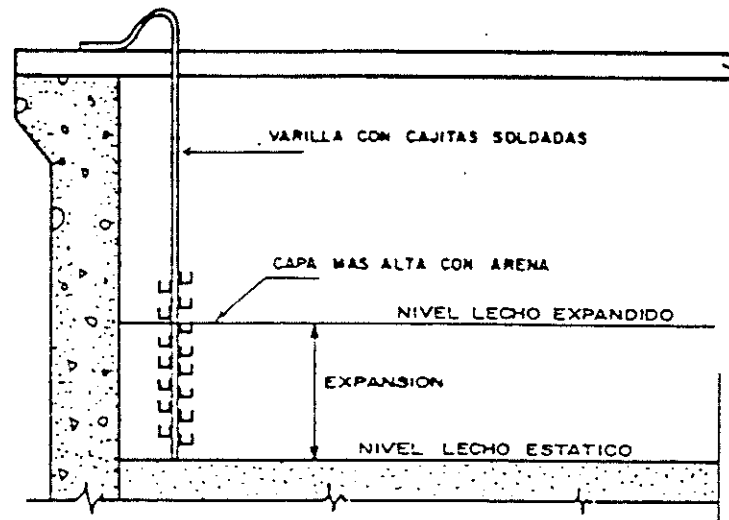
ALTURA DE GRAVA TOMANDO COMO DATUM EL NIVEL DE AGUA SOBRE LA ARENA 35 cms.

CANALETAS DE LAVADO.

LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN CMS.

GRAFICA 3.8

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA <b>DIRECCION DE PLANIFICACION</b> UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO		CALCULO : DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS REVISO : ING. INF. JORGE MARTINEZ	
FECHA : OCTUBRE '95 ESCALA : 1 : 75	<b>FILTRO # 6</b>	<b>UBICACION DE PUNTOS PARA DETERMINAR LA ALTURA DE GRAVA</b>	



SISTEMA PARA MEDIR LA EXPANSION DE LA ARENA DURANTE EL LAVADO

### 3.3.1.2 Equipo y Materiales

Una regla graduada y un cronómetro.

### 3.3.1.3 Procedimiento

- Colocar la regla dentro del filtro.
- Cerrar la válvula de ingreso del afluente.
- Medir el tiempo ( $T_f$ ) en segundos, necesario para que el nivel del agua baje de una marca de la regla a la siguiente, una distancia de 10 cm.
- Calcular la velocidad de filtración:

$$V_f \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{/d)} = \frac{V_f \times 86.400}{A_f \times T_f}$$

En la fórmula anterior es conveniente recordar que:

$A_f$	=	Area del lecho filtrante (m <sup>2</sup> )
$T_f$	=	Tiempo de filtrado (s)
$V_f$	=	Volumen filtrado (m <sup>3</sup> )

## 3.3.2 Pérdida de Carga

La evolución de la pérdida de carga en un filtro ofrece información de gran importancia para la evaluación del estado en que se encuentra, así como del proceso de filtración en sí mismo.

### 3.3.2.1 Objetivo

Determinar la pérdida de carga del filtro.

### 3.3.2.2 Equipo y Materiales

Un piezómetro (mangueras de goma transparente) y dos reglas graduadas.

### 3.3.2.3 Procedimiento

- Instalar una regla graduada dentro de la caja del filtro para medir el nivel del agua en éste.



- Conectar el otro a la tubería de salida del agua filtrada.
- Las miras de los dos piezómetros deberán nivelarse haciendo coincidir el cero con el nivel máximo de la caja del filtro.
- Leer el nivel dentro de la caja del filtro (h).
- Leer el nivel a la salida del filtro ( $h_1$ ), punto medio de las fluctuaciones si las hubiera.
- La pérdida de carga estará dada por la diferencia de las lecturas:

$$hf = h - h_1$$

- Estas mediciones se deben efectuar a intervalos de una hora, durante una o varias carreras de filtración preferentemente.
- Graficar los valores de (hf) cm, versus (T) en horas.

### 3.3.3 Fluctuaciones de pérdida de Carga

Es conocido el hecho de que en toda válvula semicerrada o tubo Venturi, la lámina de agua se desprende de las paredes del conducto y produce un pistoneo, que crea fluctuaciones instantáneas de flujo, que influyen activamente en el proceso de filtración. Este efecto se puede apreciar colocando tubos de plástico transparentes o piezómetros de 1/2" de diámetro en la tubería afluente del filtro, como se ha indicado en el numeral anterior.

#### 3.3.3.1 Objetivo

Determinar la magnitud de las fluctuaciones del nivel de agua en los piezómetros.

#### 3.3.3.2 Equipo y Materiales

Los mismos indicados para el ensayo anterior.

#### 3.3.3.3 Procedimiento

- Se coloca un papel detrás del tubo instalado en la tubería del efluente y durante un minuto se marcan las variaciones de nivel de agua en los piezómetros. Los extremos indicarán las fluctuaciones de nivel máximas y mínimas.

### 3.3.4 Calidad del Agua de la Etapa Inicial de Filtración

Al ser puesto un filtro en funcionamiento después del proceso de lavado, se obtiene por lo general un efluente con turbiedad más alta que durante el resto de la carrera, debido a que cierta proporción de las partículas que se desprendieron durante el proceso de lavado han quedado retenidas sobre el lecho y dentro de éste, saliendo al comenzar la operación. En general cuanto más descuidada sea la operación del filtro y más deteriorado se encuentre el lecho filtrante, peor será la calidad del efluente inicial producido por el filtro, por lo cual se justifica el conocer la calidad del filtrado inicial.

#### 3.3.4.1 Objetivo

Detectar el comportamiento del filtro al inicio de su carrera y determinar el tiempo que demora en alcanzar la turbiedad normal. Mediante esta prueba se puede determinar también el comportamiento del medio filtrante.

#### 3.3.4.2 Equipo y Materiales

20 recipientes de 150 ml o más y un turbidímetro.

#### 3.3.4.3 Procedimiento

- A partir del momento en que se reinicia la operación de filtrado, y antes que el efluente se mezcle con el de las otras unidades, comenzar a tomar muestras cada 2 minutos hasta las primeras quince muestras.
- Continuar tomando muestras cada 5 minutos hasta completar el total de 20 muestras.
- Determinar la turbiedad de las muestras.
- Graficar los datos y trazar la curva turbiedad versus tiempo en papel semilogarítmico de 2 ciclos.

## 3.4. Eficiencia del Proceso de Filtración

### 3.4.1 Remoción Física (de turbiedad)

Como indicador de la remoción física se tomó el parámetro de turbiedad y se analizará tomando en cuenta el tiempo en que las unidades de filtración producen agua de calidad, de acuerdo con la norma COGUANOR NGO 29001.

### 3.4.1.1 Objetivo

Determinar el porcentaje de tiempo en que se está produciendo agua de calidad de acuerdo a las normas.

### 3.4.1.2 Equipo y Materiales

Siete frascos, un turbidímetro.

### 3.4.1.3 Procedimiento

- Identificar los frascos de acuerdo al número de filtro en donde serán utilizados para sacar las muestras.
- Durante por lo menos 20 días y a diferentes horas sacar muestras y determinar las turbiedades de agua producida por cada filtro.
- Los datos obtenidos se agrupan en rangos predeterminados, calculándose su frecuencia de presentación, con la cual se puede graficar la curva de frecuencia acumulativa..

## 3.4.2 Remoción Bacteriológica

### 3.4.2.1 Objetivo

Determinar el porcentaje de remoción bacteriológica de las unidades de filtración, respecto a la calidad bacteriológica del agua sedimentada.

### 3.4.2.2 Materiales

Frascos estériles para obtención de muestras  
Dispositivo para tomar muestras a profundidad

### 3.4.2.3 Procedimiento

- Para que la muestra sea representativa debe observarse el procedimiento correcto para su obtención.
- Posteriormente es recomendable que el análisis bacteriológico lo realice un Laboratorio que respalde los resultados obtenidos.
- Se debe obtener una muestra por filtro antes de que el agua producida por cada uno se mezcle con el de las otras unidades. En los filtros de la planta Lo de Coy se utilizó un dispositivo para

tomar muestras a profundidad. Posteriormente se llevaron las muestras al laboratorio Físico-Químico Microbiológico de EMPAGUA, para el análisis correspondiente.

- Los datos obtenidos se agrupan en un cuadro para poder calcular el porcentaje de remoción de la siguiente manera :

$$\% = \frac{(P_i - P_f) \times 100}{P_i}$$

% = Porcentaje de Remoción  
P<sub>i</sub> = NMP de agua sedimentada  
P<sub>f</sub> = NMP de agua filtrada

## 4 Aplicación.

En la planta de tratamiento Lo de Coy, se evaluaron las seis unidades de filtración existentes. La evaluación se realizó de acuerdo a los procedimientos descritos en la Parte II, numerales 3 de este documento y siguiendo la tecnología del PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO, DEL CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS), ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS) Y ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS).

### 4.1 Resultados Obtenidos.

#### 4.1.1 Características del Lecho Filtrante.

##### 4.1.1.1 Granulometría y espesor del lecho filtrante

Del análisis granulométrico de la arena y la antracita que conforman el lecho de los filtros, se obtuvieron los resultados que se muestran en los cuadros Nos. 4.1 y 4.2.

**Cuadro 4.1**  
\* % que pasa (Acumulado)  
Arena

Apertura (mm)	M U E S T R A S					
	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
0.208	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.295	0.00	0.00	0.00	1.70	1.47	1.40
0.417	0.33	0.95	2.21	2.50	2.07	2.00
0.600	7.38	1.31	3.19	21.60	14.57	6.30
0.833	79.87	7.68	19.84	100.00	100.00	79.80
1.190	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

\*El análisis granulométrico fue realizado por el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Cuadro 4.2**  
\* % que pasa (Acumulado)  
**Antracita**

Apertura (mm)	MUESTRAS					
	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
0.833	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.190	0.00	35.82	7.24	9.31	7.01	0.00
1.680	73.82	88.60	53.34	56.00	43.13	55.26
2.000	93.37	100.00	88.64	87.30	80.58	88.14

\*El análisis granulométrico fue realizado por el Centro de investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Con los datos de los cuadros 4.1 y 4.2 se obtuvieron las curvas granulométricas (gráficas 4.1 a 4.12 ) de la arena y la antracita que actualmente están instaladas en cada filtro.

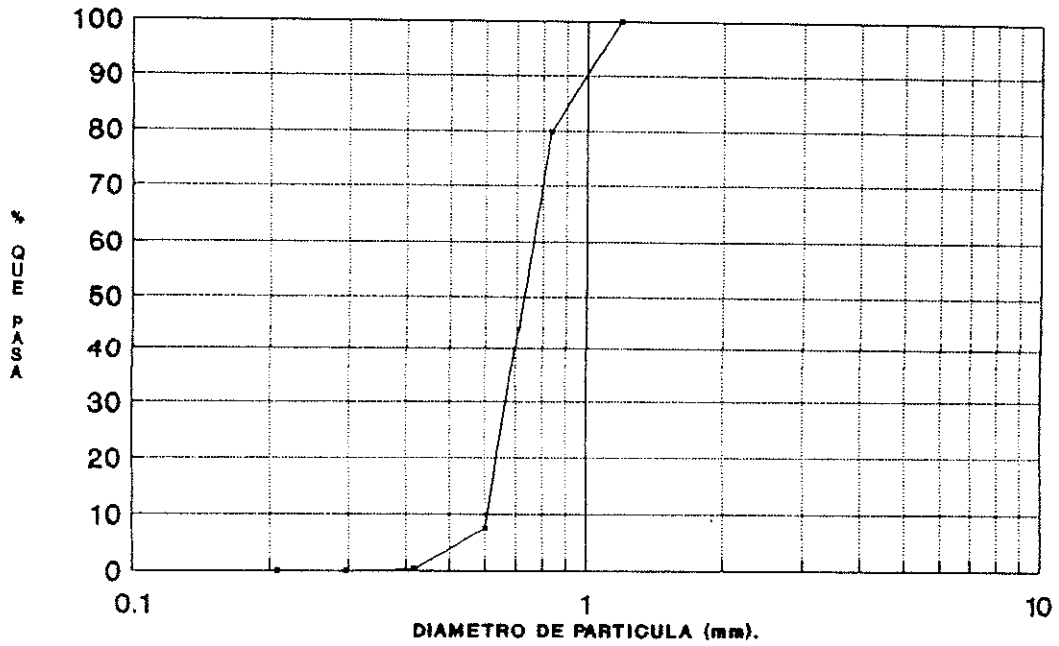
El diámetro efectivo y el coeficiente de uniformidad se obtienen de las gráficas indicadas; al igual que el grado de intermezcla de los dos materiales. Los resultados obtenidos se muestran en los cuadros 4.3 , 4.4 , 4.5 , además se presentan los datos de diseño obtenidos del manual de operación.

Diámetro efectivo (de) =  $d_{10}$

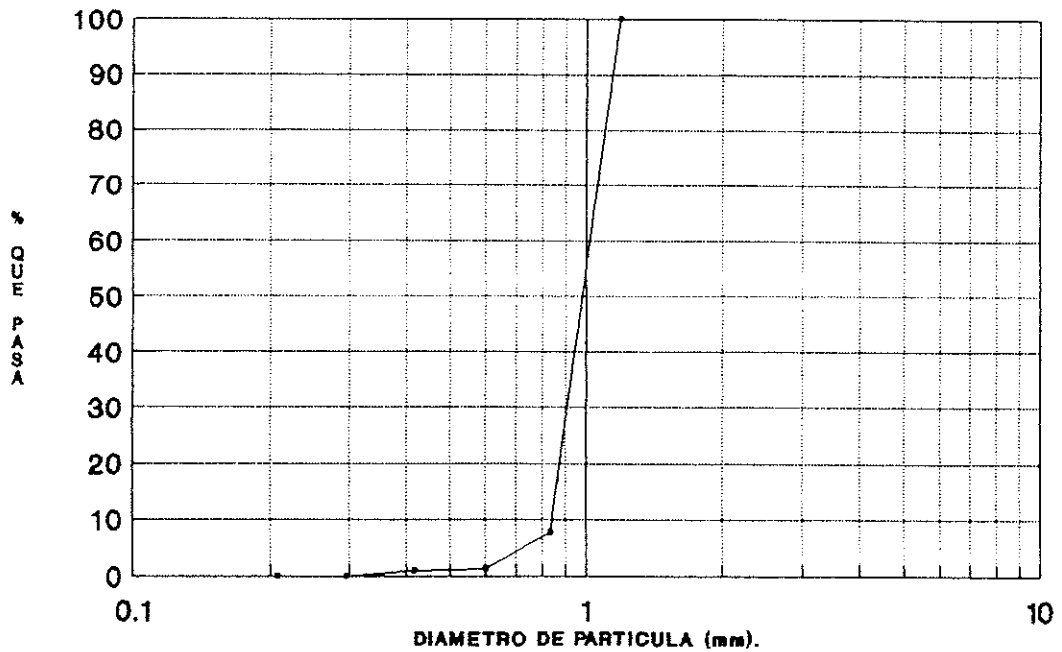
Este diámetro es el dato de la abscisa de la curva correspondiente al 10% del material que pasa.

Coeficiente de uniformidad: (CU) =  $\frac{d_{60}}{d_{10}}$

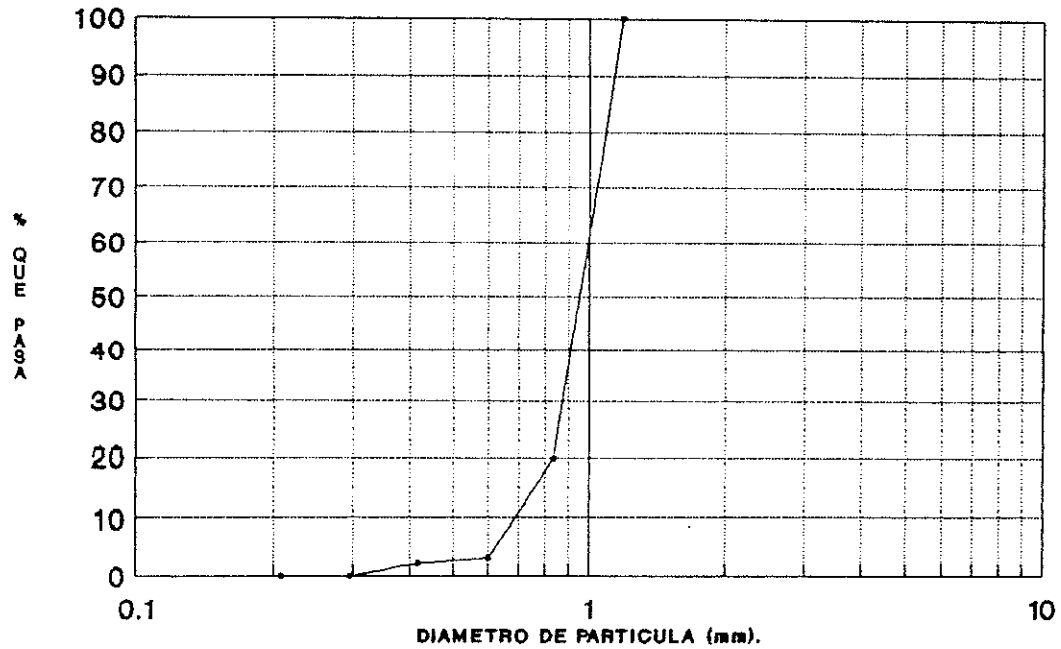
Grado de intermezcla: (G. I.) =  $\frac{d_{90} \text{ Antracita}}{d_{10} \text{ Arena}}$



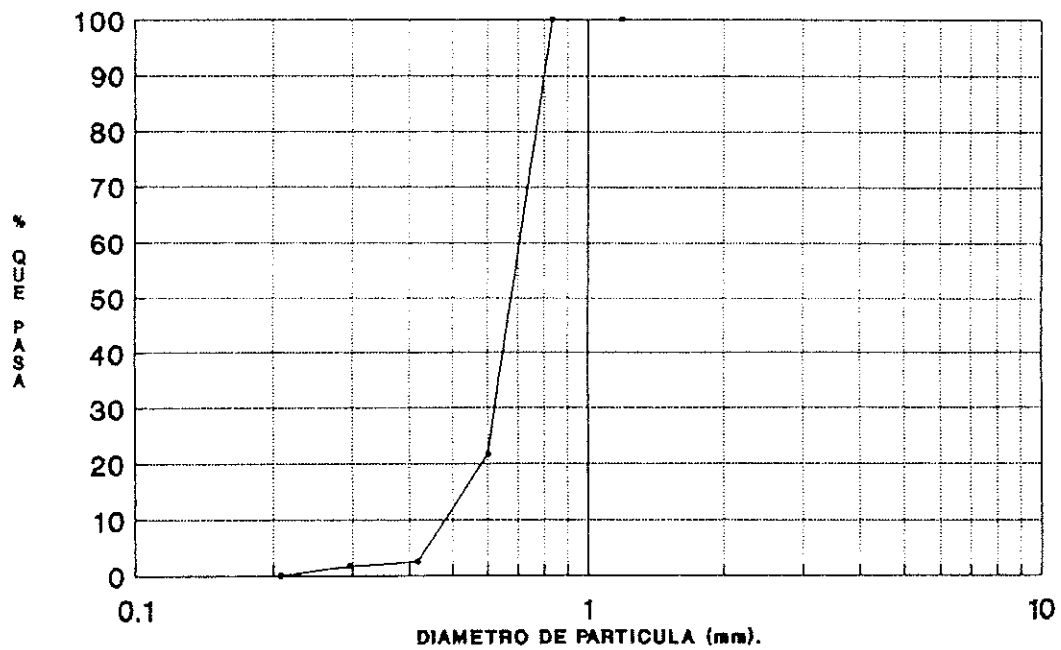
**Gráfica 4.1. Curva granulométrica de la arena del filtro #1**



**Gráfica 4.2. Curva granulométrica de la arena del filtro #2**

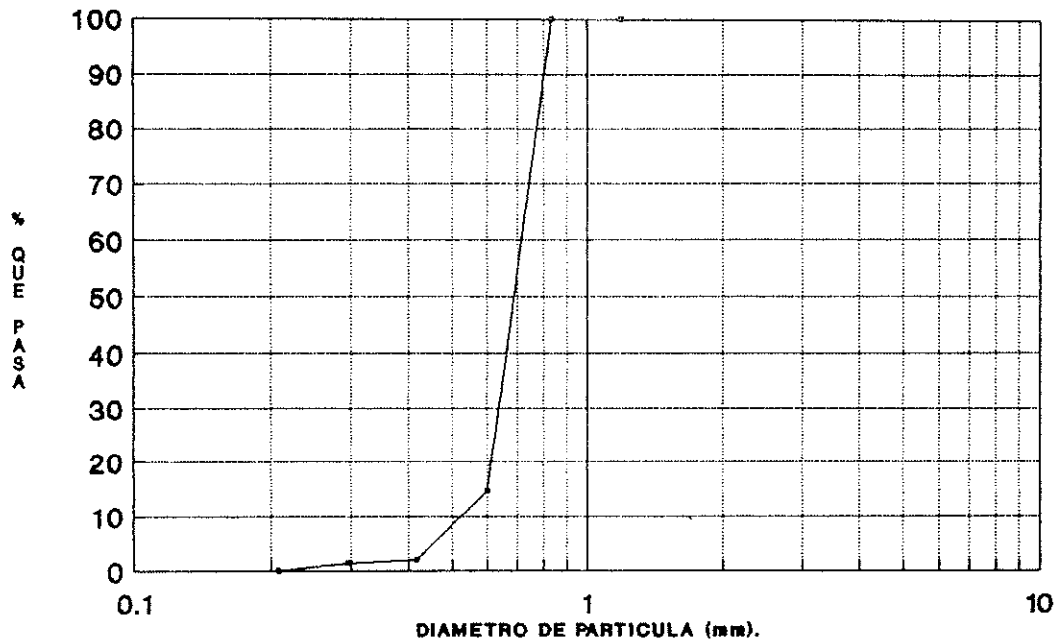


**Gráfica 4.3. Curva granulométrica de la arena del filtro #3**

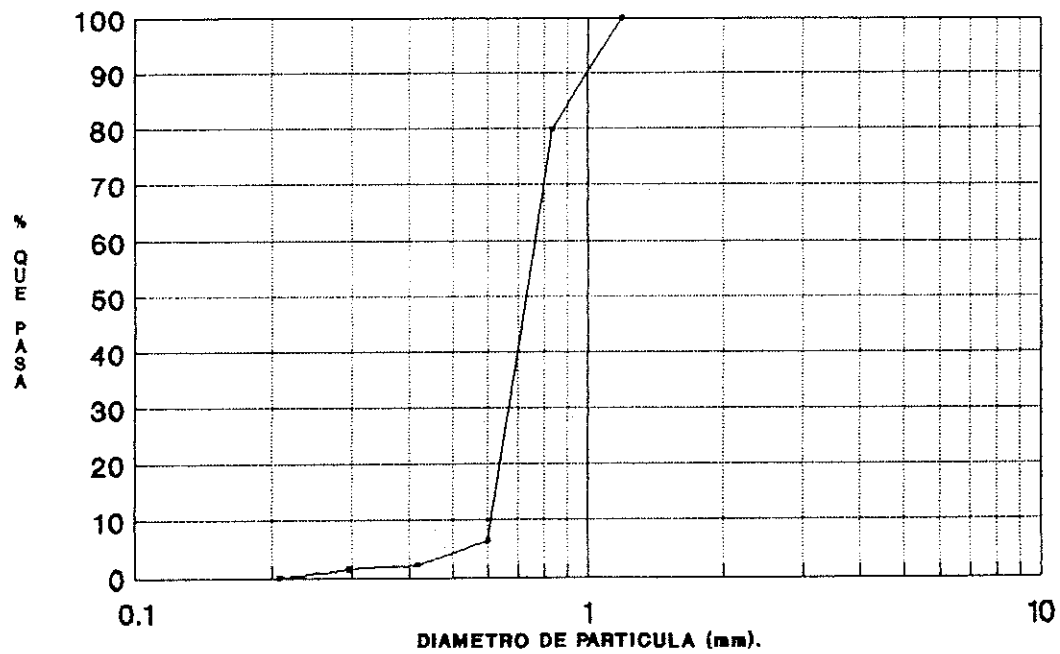


**Gráfica 4.4. Curva granulométrica de la arena del filtro #4**

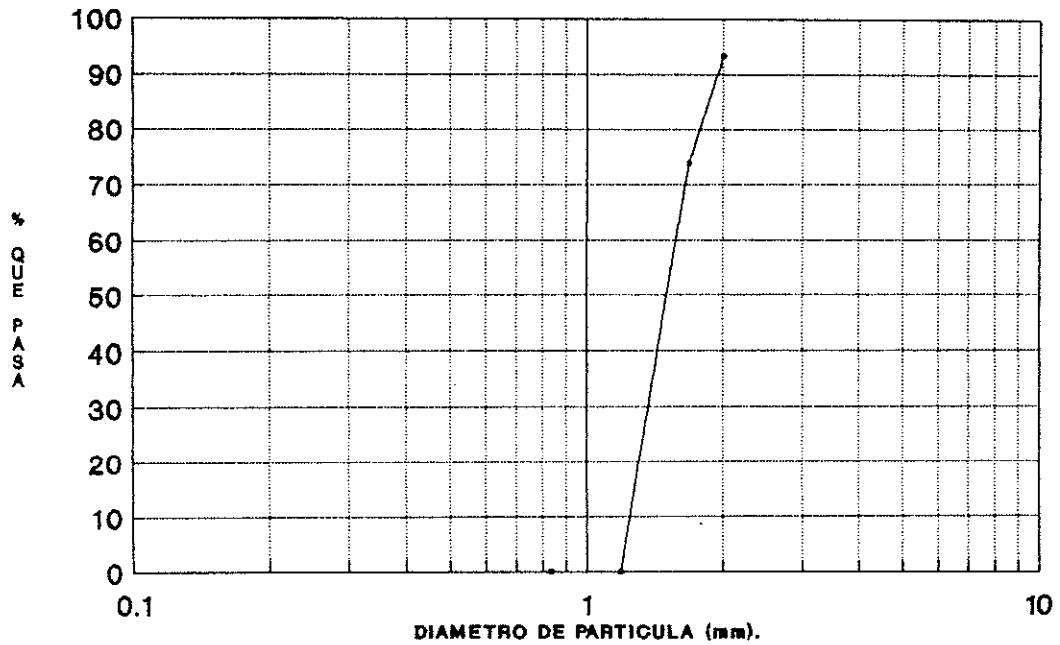




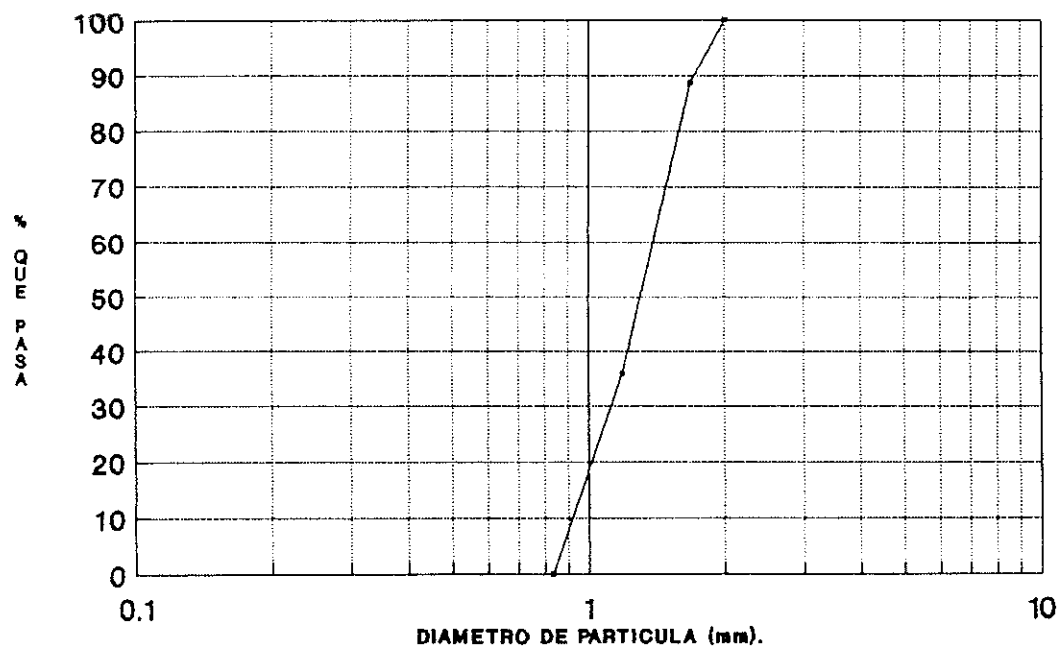
**Gráfica 4.5. Curva granulométrica de la arena del filtro #5**



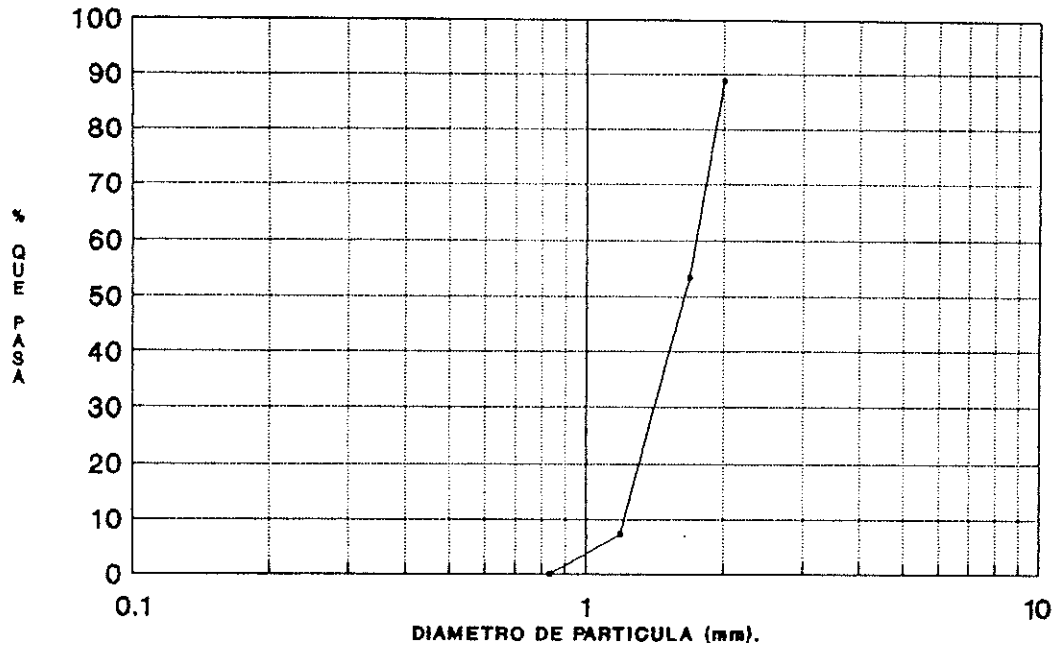
**Gráfica 4.6. Curva granulométrica de la arena del filtro #6**



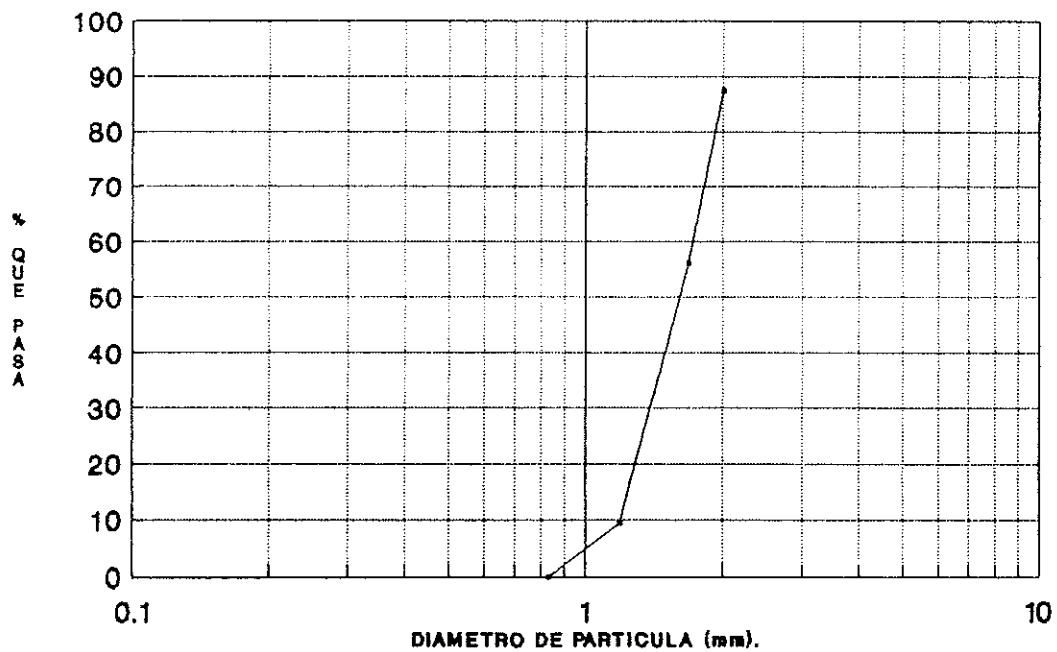
**Gráfica 4.7. Curva granulométrica de la antracita del filtro #1**



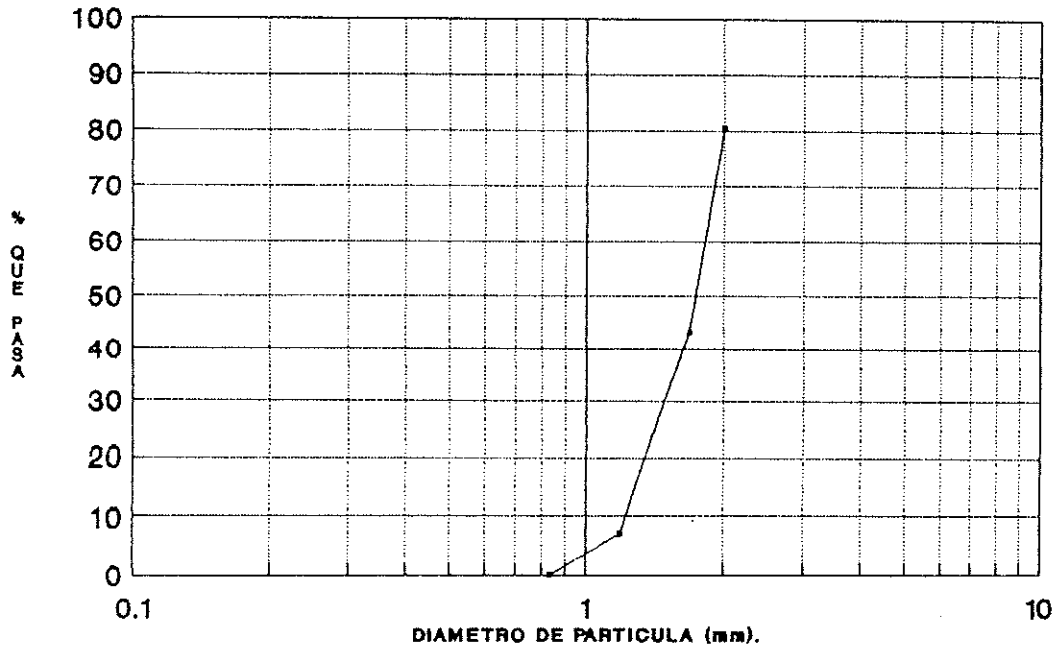
**Gráfica 4.8. Curva granulométrica de la antracita del filtro #2**



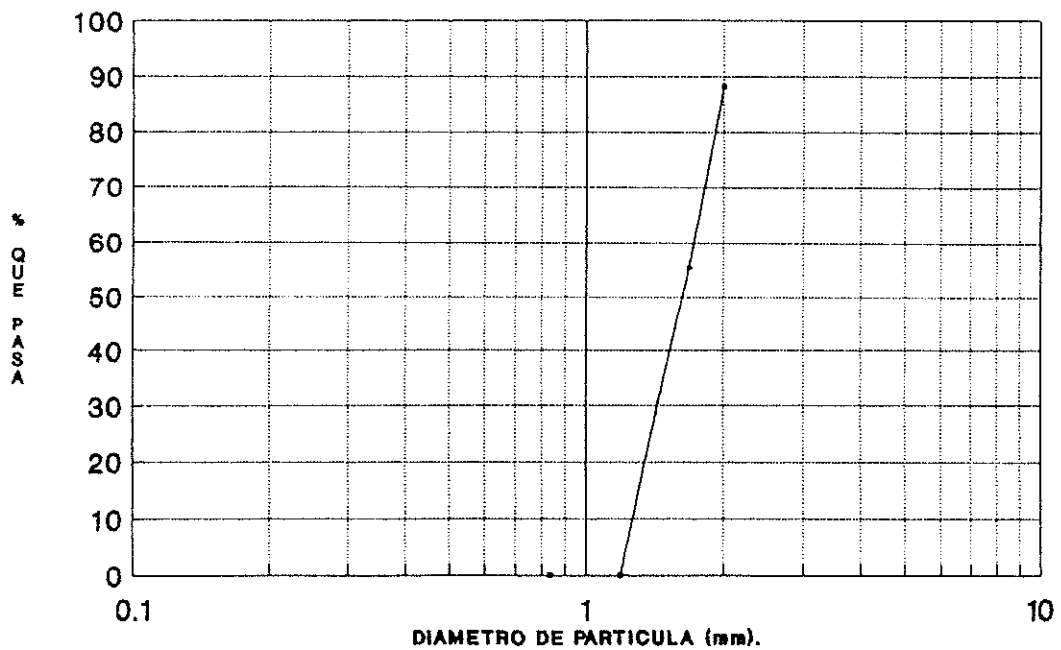
**Gráfica 4.9. Curva granulométrica de la antracita del filtro #3**



**Gráfica 4.10. Curva granulométrica de la antracita del filtro #4**



**Gráfica 4.11. Curva granulométrica de la antracita del filtro #5**



**Gráfica 4.12. Curva granulométrica de la antracita del filtro #6**

**Cuadro 4.3**  
**Resultados de la Curva Granulométrica**  
**Arena**

Filtro	$d_{10}$	$d_{10}$	$d_{60}$	$d_{60}$	CU	CU
	mm (Diseño)	mm (Ensayo)	mm (Diseño)	mm (Ensayo)	(Diseño)	(Ensayo)
1	0.45	0.61	0.68	0.75	1.5	1.23
2	0.45	0.84	0.68	1.02	1.5	1.21
3	0.45	0.68	0.68	1.00	1.5	1.47
4	0.45	0.48	0.68	0.70	1.5	1.46
5	0.45	0.53	0.68	0.71	1.5	1.34
6	0.45	0.51	0.68	0.76	1.5	1.49

**Cuadro 4.4**  
**Resultados de la Curva Granulométrica**  
**Antracita**

Filtro	$d_{10}$	$d_{10}$	$d_{60}$	$d_{60}$	$d_{90}$	CU	CU
	mm (Diseño)	mm (Ensayo)	mm (Diseño)	mm (Ensayo)	mm (Ensayo)	(Diseño)	(Ensayo)
1	1.1	1.33	1.65	1.63	1.94	1.5	1.23
2	1.1	0.97	1.65	1.46	1.76	1.5	1.51
3	1.1	1.28	1.65	1.78	2.00	1.5	1.39
4	1.1	1.25	1.65	1.78	2.00	1.5	1.42
5	1.1	1.28	1.65	1.84	2.11	1.5	1.44
6	1.1	1.33	1.65	1.76	2.00	1.5	1.32

**Cuadro 4.5**  
**Grado de Intermezcla de**  
**Arena y Antracita**

G. I.	FILTROS					
	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
Ensayo	3.18	2.10	2.94	4.17	4.14	3.92

Durante el ensayo se midieron además los espesores de la arena y la antracita cuyo resultados promedio se muestran en el cuadro 4.6.

**Cuadro 4.6**  
**Niveles de Arena y Antracita**

Filtro	Espesor de Arena (cm)	Espesor Antracita (cm)	Nivel de Agua como Referencia para la Medición (cm)
1	25	45	28
2	20	30	28
3	22	45	28
4	23	37	36
5	20	40	36
6	21	30	35

#### 4.1.1.2 Bolas de Lodo

El cuadro 4.7 indica los resultados de la evaluación de contenido de bolas de lodo en los seis filtros de la planta Lo de Coy.

**Cuadro 4.7**  
**Análisis de Bolas de Lodo**

Filtro	VOLUMENES (ml)		% De Bolas de lodo ( $\Delta V/V$ ) x 100
	Muestra ml	Bolas de Lodos ml	
1	5,425	0	0
2	5,375	0	0
3	6,030	0	0
4	5,800	0	0
5	6,400	0	0
6	5,300	0	0

Según el numeral 3.1.2.3, donde se describe el procedimiento para encontrar el volumen de bolas de lodo:

$\nabla$  = Volumen de la muestra de material

$\Delta\nabla$  = Volumen de bolas de lodo

## 4.1.2 Características del Proceso de Lavado.

### 4.1.2.1 Velocidad de Lavado del Filtro.

En el cuadro 4.8 se presentan los resultados de la evaluación de la velocidad de lavado de los seis filtros de la planta Lo de Coy.

Es conveniente recordar que :

$$V_L = \frac{H}{T}$$

$$Q_L = A \times V_L$$

En donde :

$V_L$  = Velocidad de Lavado

$Q_L$  = Caudal de Lavado

$A$  = Area del lecho filtrante

$H$  = Variación de la altura del agua

$T$  = Tiempo en que se incrementa la altura  $H$

**Cuadro 4.8**  
**Determinación de la Velocidad y Caudal de Lavado**

Filtro	A Area Lecho Filtrante (m <sup>2</sup> )	T Tiempo de Ascenso del Agua (Seg)	H Distancia en (cm)	V <sub>L</sub> Velocidad de lavado m/min.	Q <sub>L</sub> Caudal de lavado l/s
1	78.08	27.30	50	1.10	1432
2	78.08	32.49	60	1.11	1445
3	78.08	27.49	50	1.09	1419
4	78.08	26.25	40	0.91	1184
5	78.08	17.34	20	0.69	898
6	78.08	29.63	45	0.91	1184

#### 4.1.2.2 Expansión del Lecho filtrante.

Durante los ensayos se determinó que existe desigualdad en la expansión del Lecho Filtrante, la que probablemente es ocasionada por la forma de ingreso del agua de retrolavado que se ha concentrado en una válvula de diámetro 36" y que está localizada en un extremo de la caja de cada filtro.

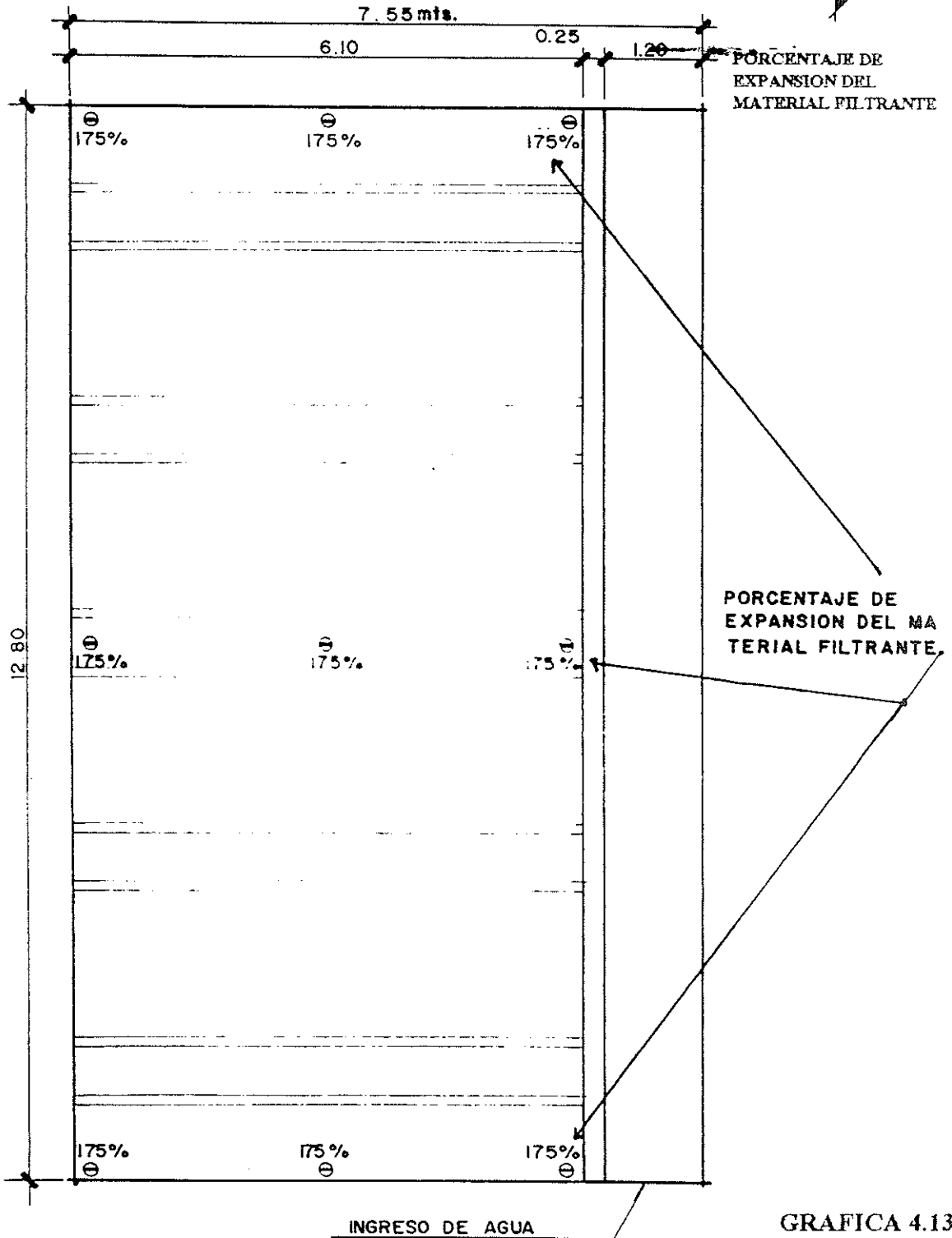
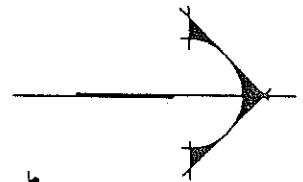
Otra de las causas de la desigualdad de las expansiones, es que no funciona en ciertas áreas el lavado superficial y por lo tanto en esas áreas la expansión es mínima. Debido a estas situaciones se tomó la decisión de medir las expansiones en nueve puntos diferentes en cada filtro, (ver gráficas de la número 4.13 a la número 4.18 que muestran los puntos donde se midieron las expansiones), además en el cuadro 4.9 se presentan los principales resultados del ensayo, para calcular el porcentaje de expansión se tomo el máximo espesor medido en cada filtro.

$$\% \text{ Porcentaje de Expansión del lecho filtrante} = \frac{\Delta h \times 100}{h}$$

Es conveniente recordar que:  $h$  = a la altura del lecho filtrante estático.  
 $\Delta h$  = a la altura que el lecho filtrante se expande.



61



# PLANTA

GRAFICA 4.13

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

## DIRECCION DE PLANIFICACION

UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO

CALCULO :

DIBUJO : Bc. ROBERTO BARRIOS

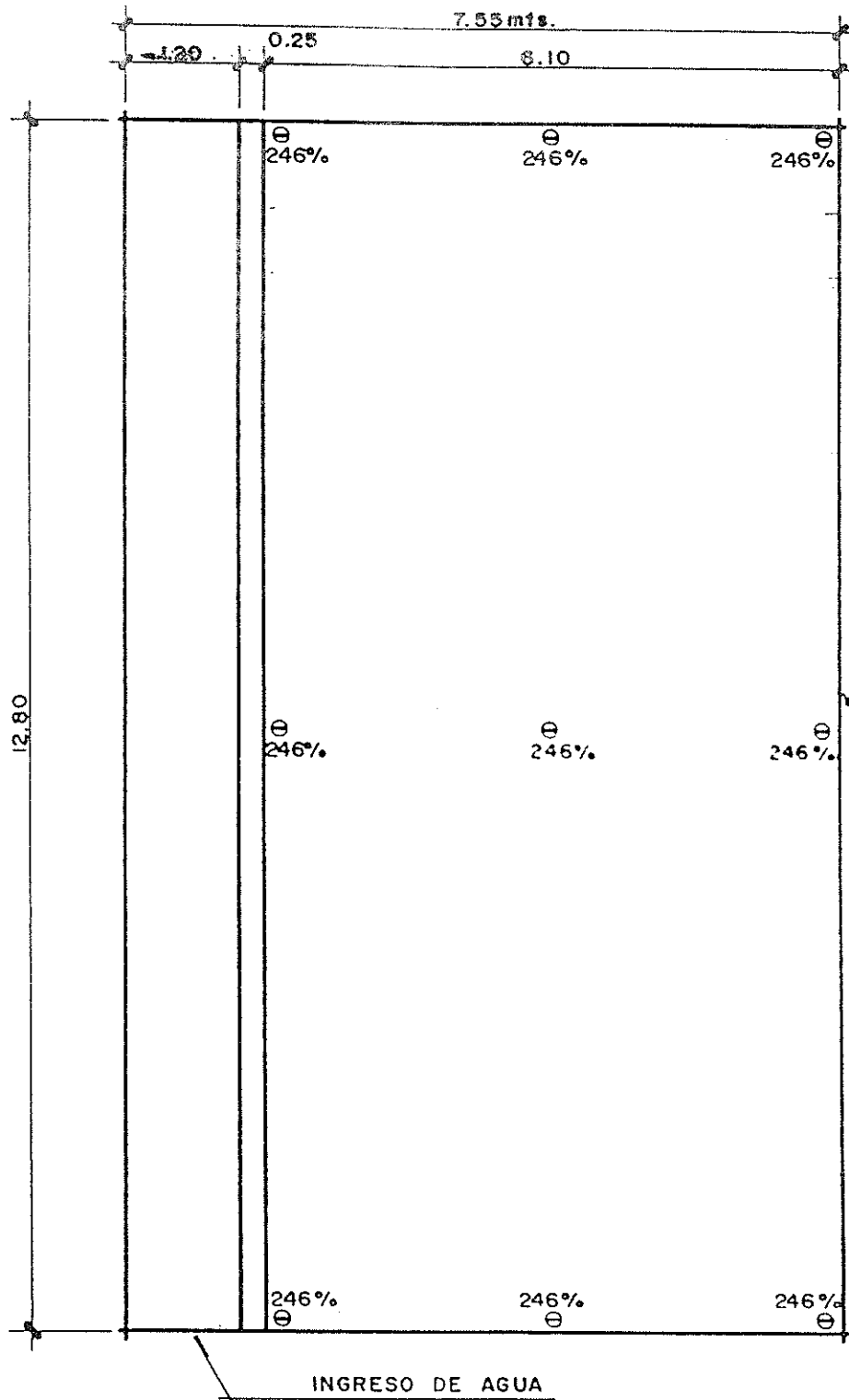
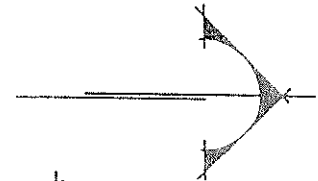
REVISO : JORGE VALEY

FECHA : NOVIEMBRE '95

ESCALA : 1 : 75

### FILTRO # 1

### PUNTOS DONDE SE MIDIERON EXPANSIONES

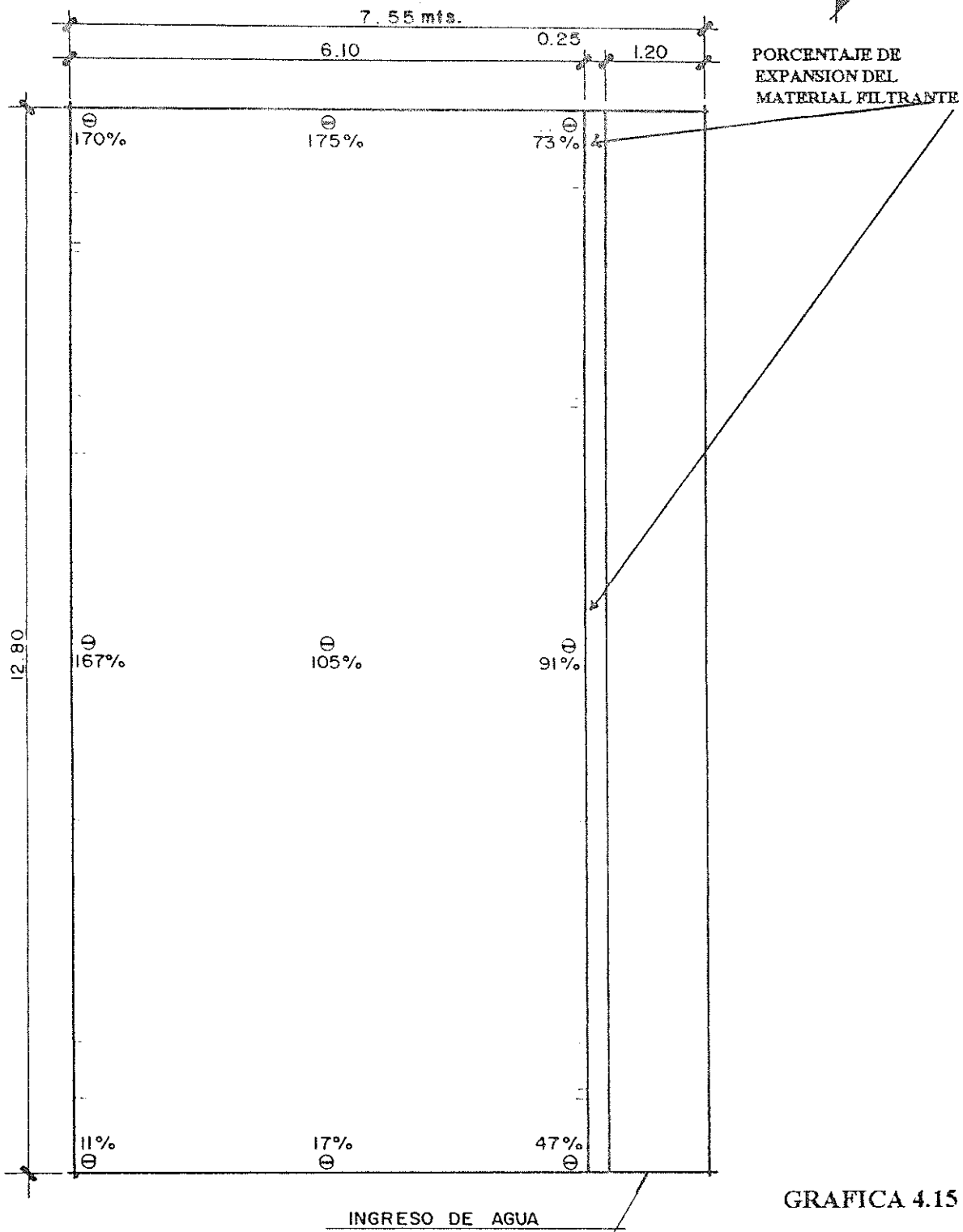
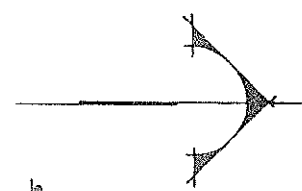


PORCENTAJE DE EXPANSION DEL MATERIAL FILTRANTE

GRAFICA 4.14

**PLANTA**

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA		CALCULO : .	
<b>DIRECCION DE PLANIFICACION</b>		DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS	
UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO		REVISO : JORGE MARTINEZ	
FECHA : OCTUBRE '95	<b>FILTRO # 2</b>	<b>PUNTOS DONDE SE MIDIERON EXPANSIONES</b>	
ESCALA : 1 : 75			

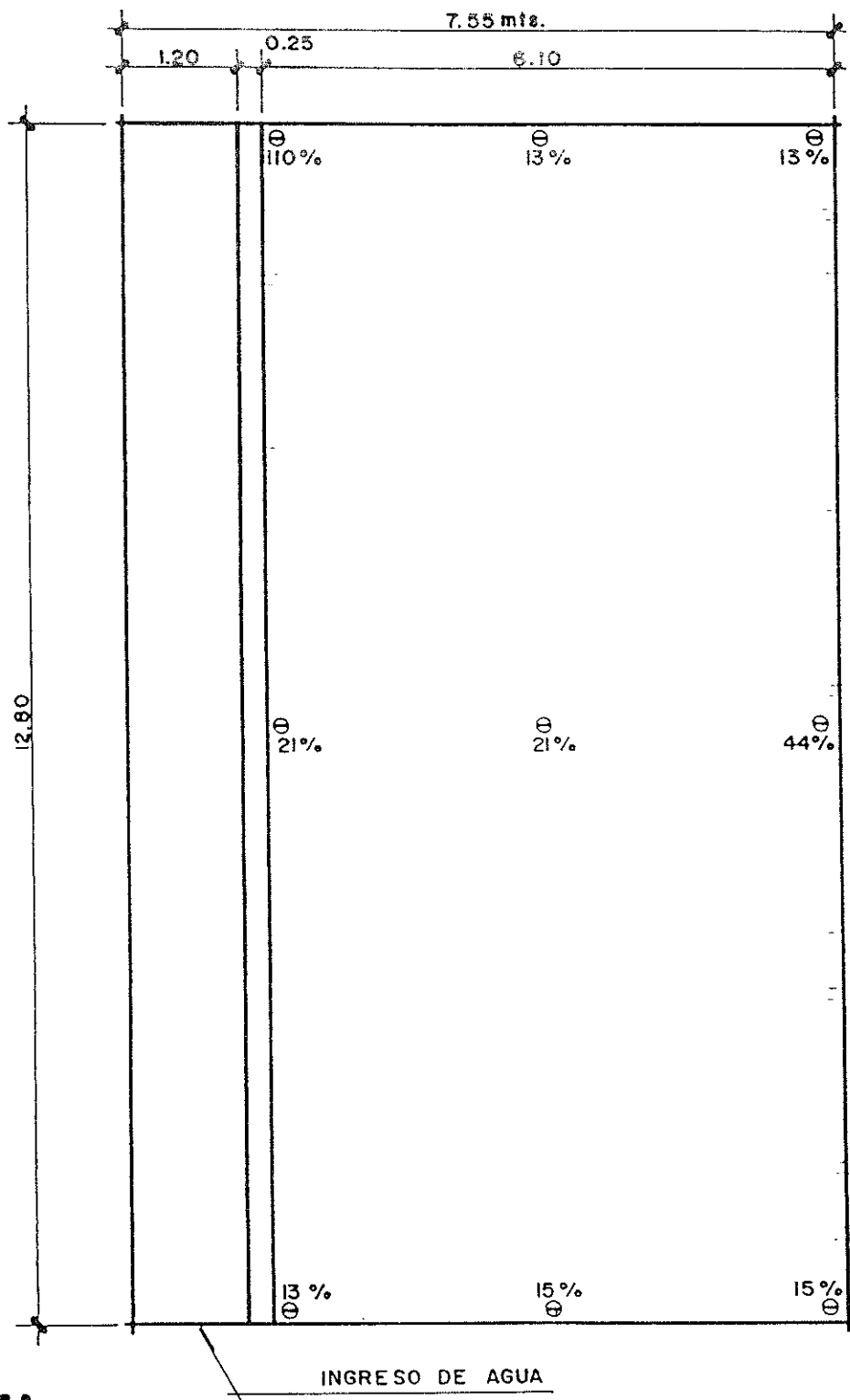
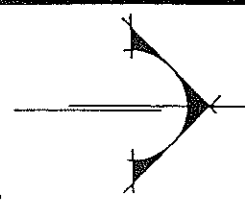


GRAFICA 4.15

# PLANTA

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA		CALCULO :	
<b>DIRECCION DE PLANIFICACION</b>		DIBUJO : Sr. ROBERTO BARRIOS	
UNIDAD DE DISENO DE AGUA Y ALCANTARILLADO		REVISO : JORGE VALEY	
FECHA : NOVIEMBRE '95	<b>FILTRO # 3</b>	<b>PUNTOS DONDE SE MIDIERON EXPANSIONES</b>	
ESCALA : 1 : 75			

64



PORCENTAJE DE EXPANSION DEL MATERIAL FILTRANTE

### PLANTA

GRAFICA 4.16

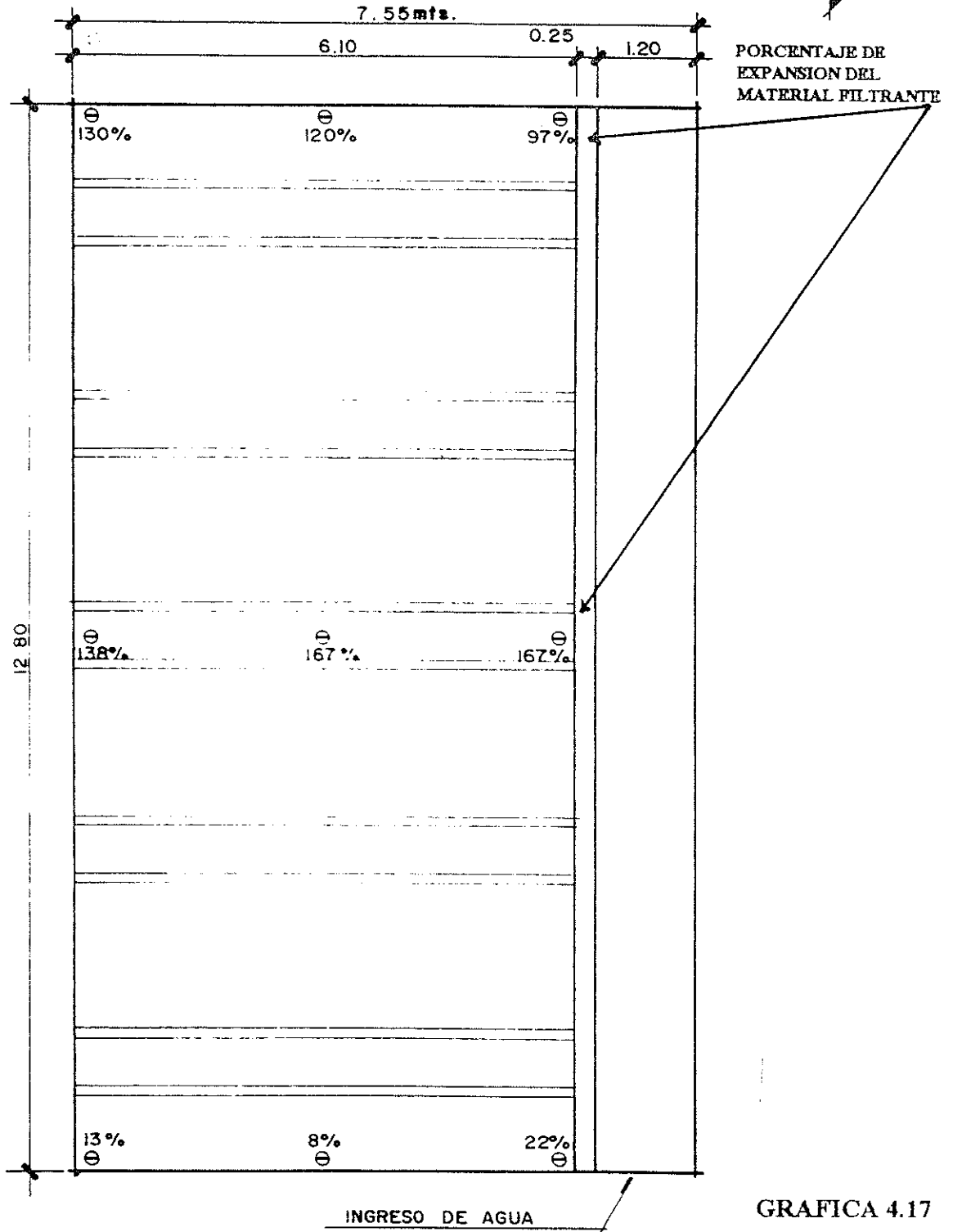
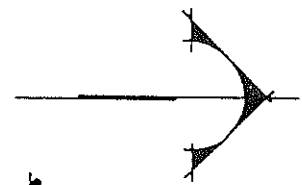
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA  
**DIRECCION DE PLANIFICACION**  
 UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO

CALCULO :  
 DIBUJO : Bc ROBERTO BARRIOS  
 REVISO : JORGE MARTINEZ

FECHA : OCTUBRE '95  
 ESCALA : 1 : 75

**FILTRO # 4**

**PUNTOS DONDE SE MIDIERON EXPANSIONES**



# PLANTA

GRAFICA 4.17

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA  
**DIRECCION DE PLANIFICACION**  
 UNIDAD DE DISENO DE AGUA Y ALCANTARILLADO

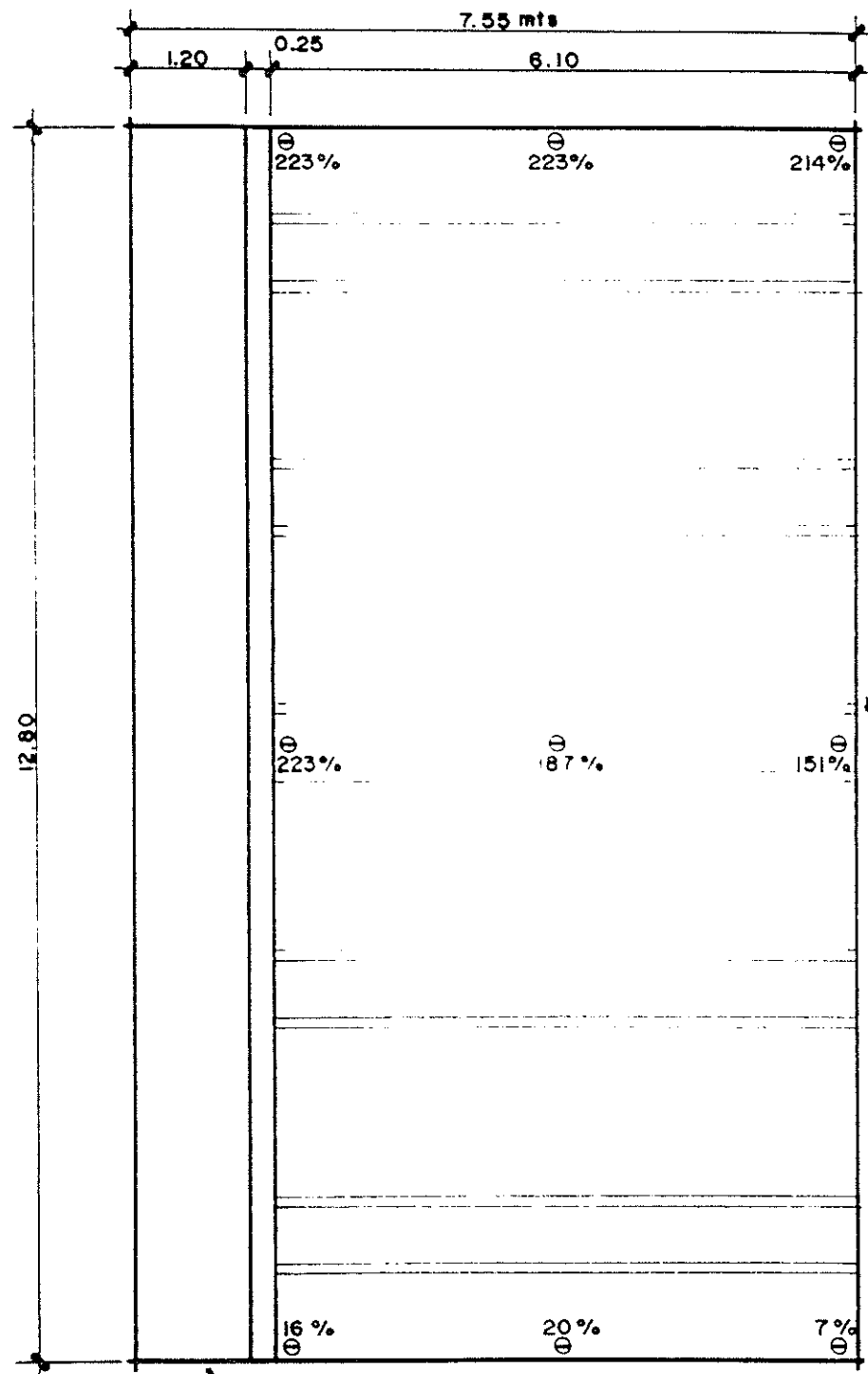
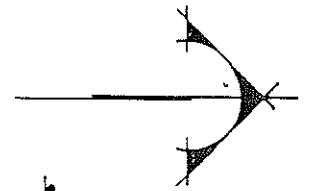
CALCULO :  
 DIBUJO : Bc ROBERTO BARRIOS  
 REVISO : JORGE VALEY

FECHA : NOVIEMBRE '95  
 ESCALA : 1 : 75

**FILTRO # 5**

**PUNTOS DONDE  
 SE MIDIERON  
 EXPANSIONES**

**66**  
**PLANTA**



← PORCENTAJE DE EXPANSION DEL MATERIAL FILTRANTE

INGRESO DE AGUA

GRAFICA 4.18

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA		CALCULO : .	
<b>DIRECCION DE PLANIFICACION</b>		DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS	
UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO		REVISO : JORGE MARTINEZ	
FECHA : OCTUBRE '95	<b>FILTRO # 6</b>	<b>PUNTOS DONDE SE MIDIERON EXPANSIONES</b>	
ESCALA : 1 : 75			

**Cuadro 4.9**  
**Expansiones Obtenidas en los seis filtros**  
**con Lavado Superficial durante el Lavado**

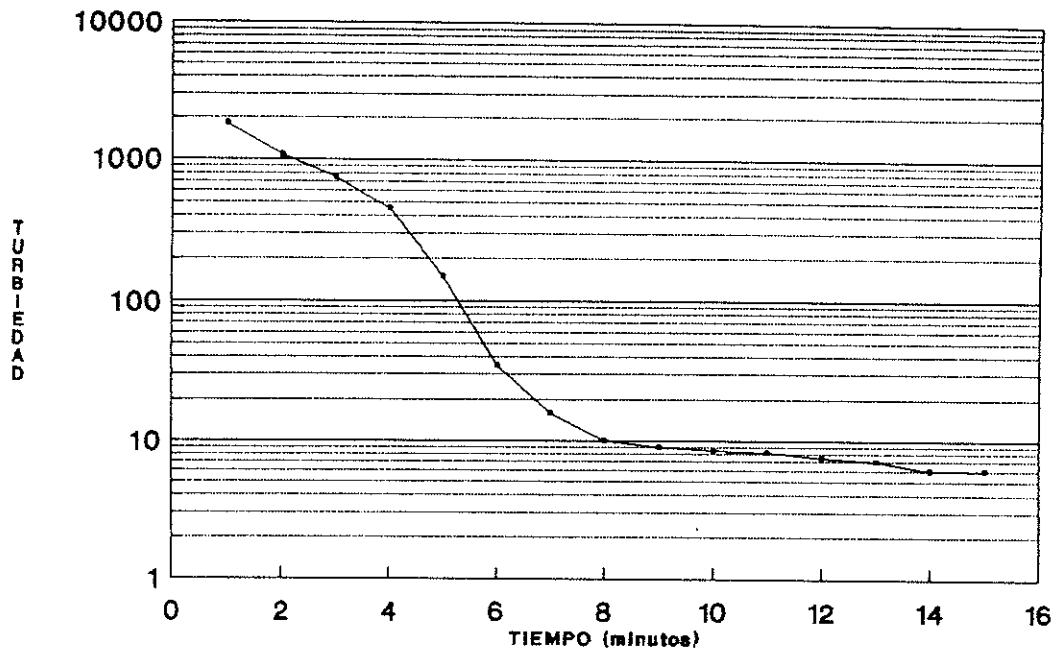
Parámetro	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
Expansión Mínima en (cm)	123	123	8	5	8	4
Expansión Media en (cm)	123	123	68	57	18	77
Expansión Máxima en (cm)	123	12	123	100	68	123
Espesor del Lecho filtrante medido en cm.	70	50	70	60	62	55
% de Expansión Mínima	175	246	11	8	13	7
% de Expansión Media	175	246	97	95	29	140
% de Expansión Máxima	175	246	175	167	110	223

#### 4.1.2.3 Duración del Proceso de Lavado.

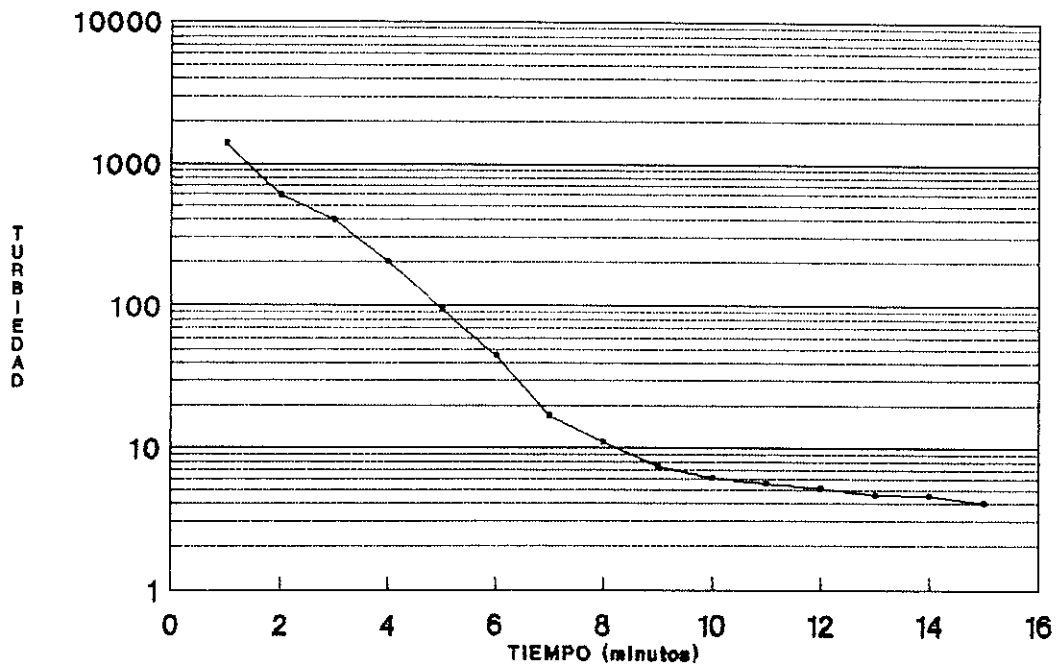
El cuadro 4.10 muestra los resultados de las turbiedades tomadas en los seis filtros durante la operación de lavado.

**Cuadro 4.10**  
**Turbiedad del Agua de Lavado Para los Seis Filtros**

Tiempo Minutos	Filtro 1 Turbiedad	Filtro 2 Turbiedad	Filtro 3 Turbiedad	Filtro 4 Turbiedad	Filtro 5 Turbiedad	Filtro 6 Turbiedad
1	1800	1400	725	1300	1660	1500
2	1075	590	650	1200	1250	500
3	750	400	375	850	1025	650
4	450	200	190	425	775	400
5	150	95	120	275	450	210
6	35	45	65	110	200	120
7	16	17	40	60	35	78
8	10	11	24	34	30	55
9	8.9	7.4	18	21	18	36
10	8.4	6.1	14	14	10	25
11	8.2	5.6	12	12	10	19
12	7.4	5.2	11	8.6	8	15
13	7	4.6	10	9.4	6	12
14	6	4.5	10	9.4	6	10
15	6	4	10	6.2	6	10

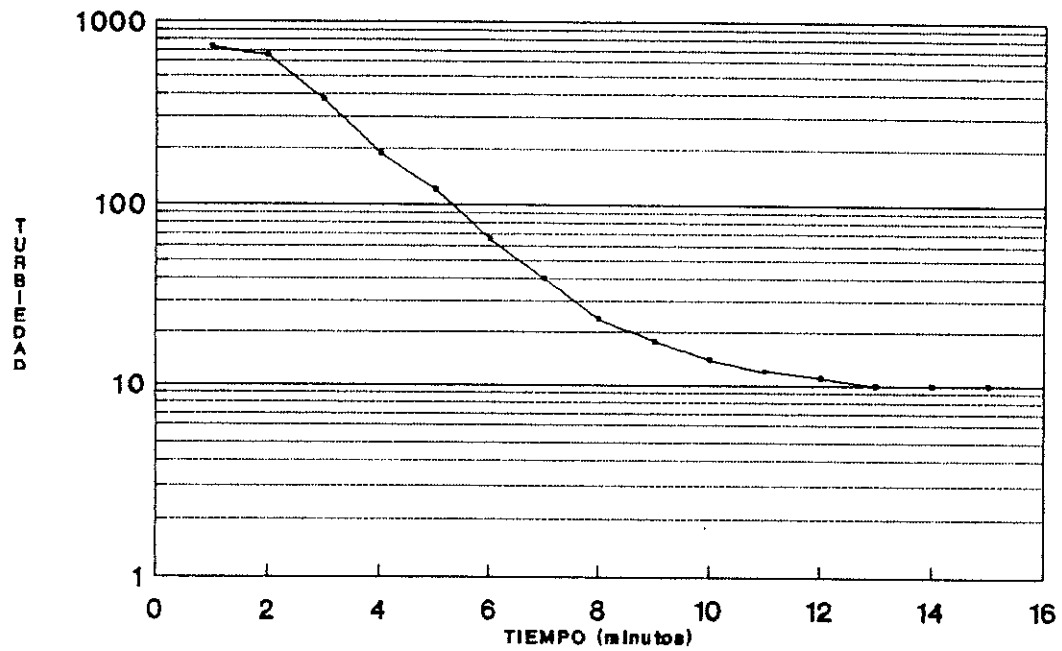


**Gráfica 4.19. Duración del proceso de lavado filtro #1.**

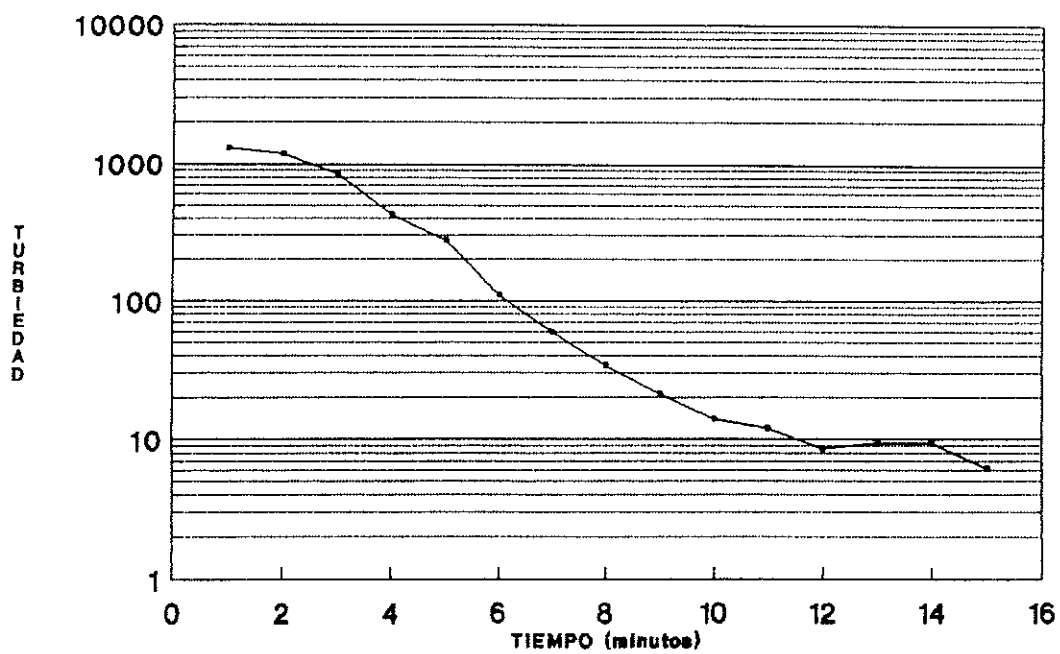


**Gráfica 4.20. Duración del proceso de lavado filtro #2.**

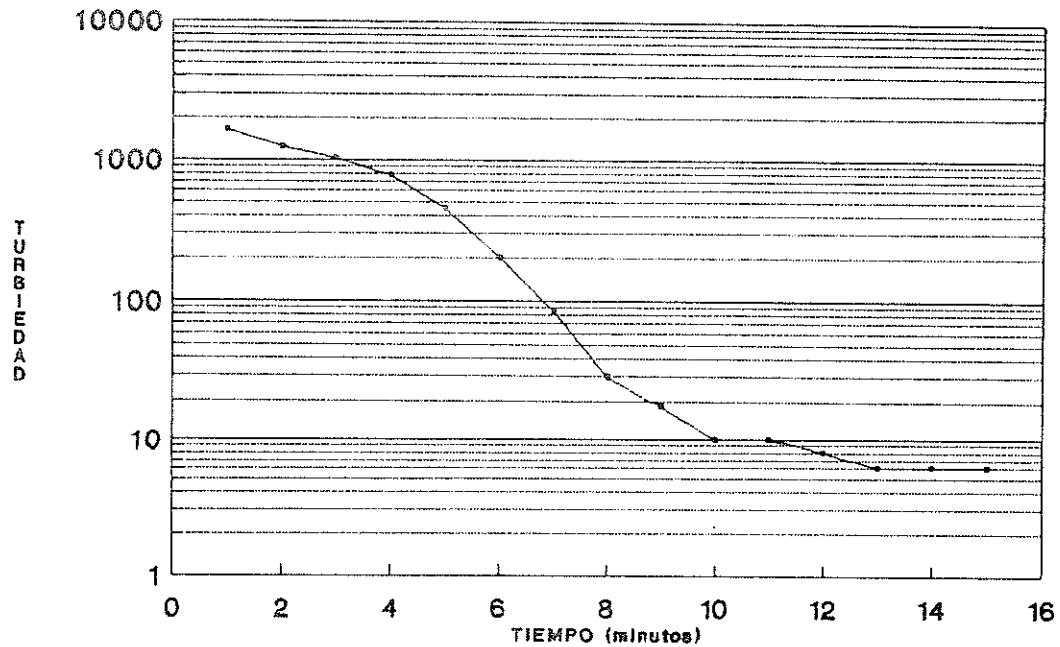




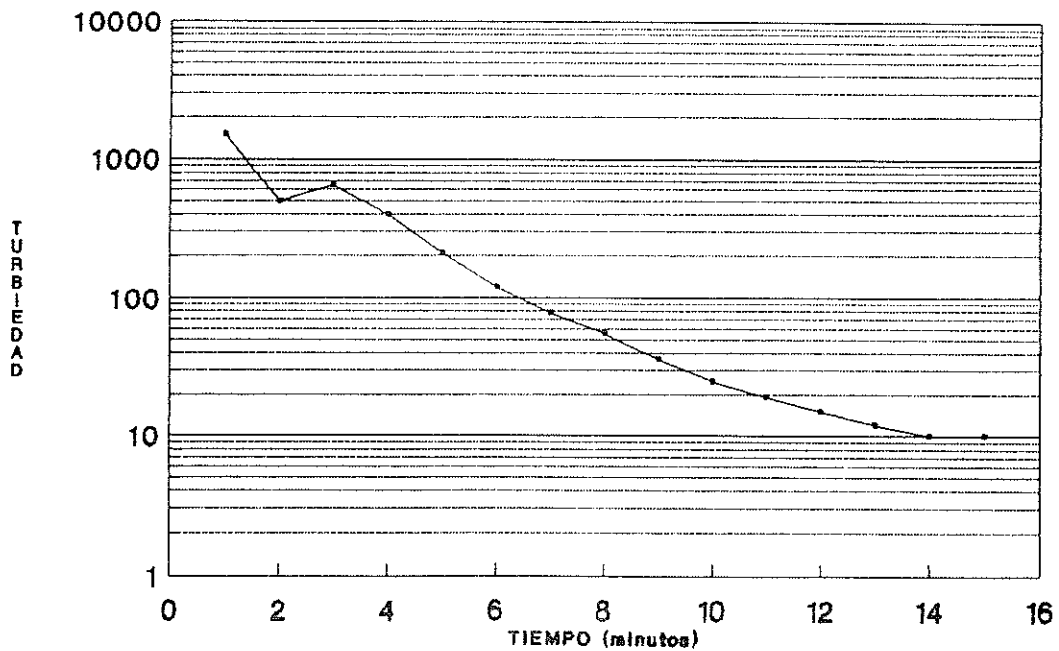
**Gráfica 4.21. Duración del proceso de lavado filtro #3.**



**Gráfica 4.22. Duración del proceso de lavado filtro #4.**



Grafica 4.23. Duración del proceso de lavado filtro #5.



Grafica 4.24. Duración del proceso de lavado filtro #6.

Estos datos dan origen a las gráficas No. 4.19 a la No. 4.24, duración del proceso del lavado, en donde se observa que las curvas obtenidas tienden a ser asintóticas con respecto al eje horizontal a los 12 minutos de duración del lavado. Después de este tiempo la turbiedad presente no se remueve por más que se prolongue la operación de lavado.

#### 4.1.2.4 Perfil del Lecho de Grava

Cada uno de los filtros de la planta de tratamiento de agua Lo de Coy, consta de una sola área de filtración, con cinco canaletas para la recolección de agua de lavado, como puede ser observado en las gráficas 2.1, 2.2 y 2.3, estas canaletas se tomaron como guía para sondear 70 puntos por filtro. Se marcaron los puntos como se indica en la gráfica 3.3 a gráfica 3.8 y se realizó el ensayo correspondiente.

Posteriormente se procedió a dibujar las curvas de nivel, las cuales se muestran en las gráficas 4.25 a 4.30.

### 4.1.3 Características del Proceso de Filtración.

#### 4.1.3.1 Velocidad y Caudal de Filtración.

Para realizar el ensayo se obtuvieron los siguientes datos:

$A_f$  = Área de la caja del filtro

$A_f$  = Área del lecho filtrante

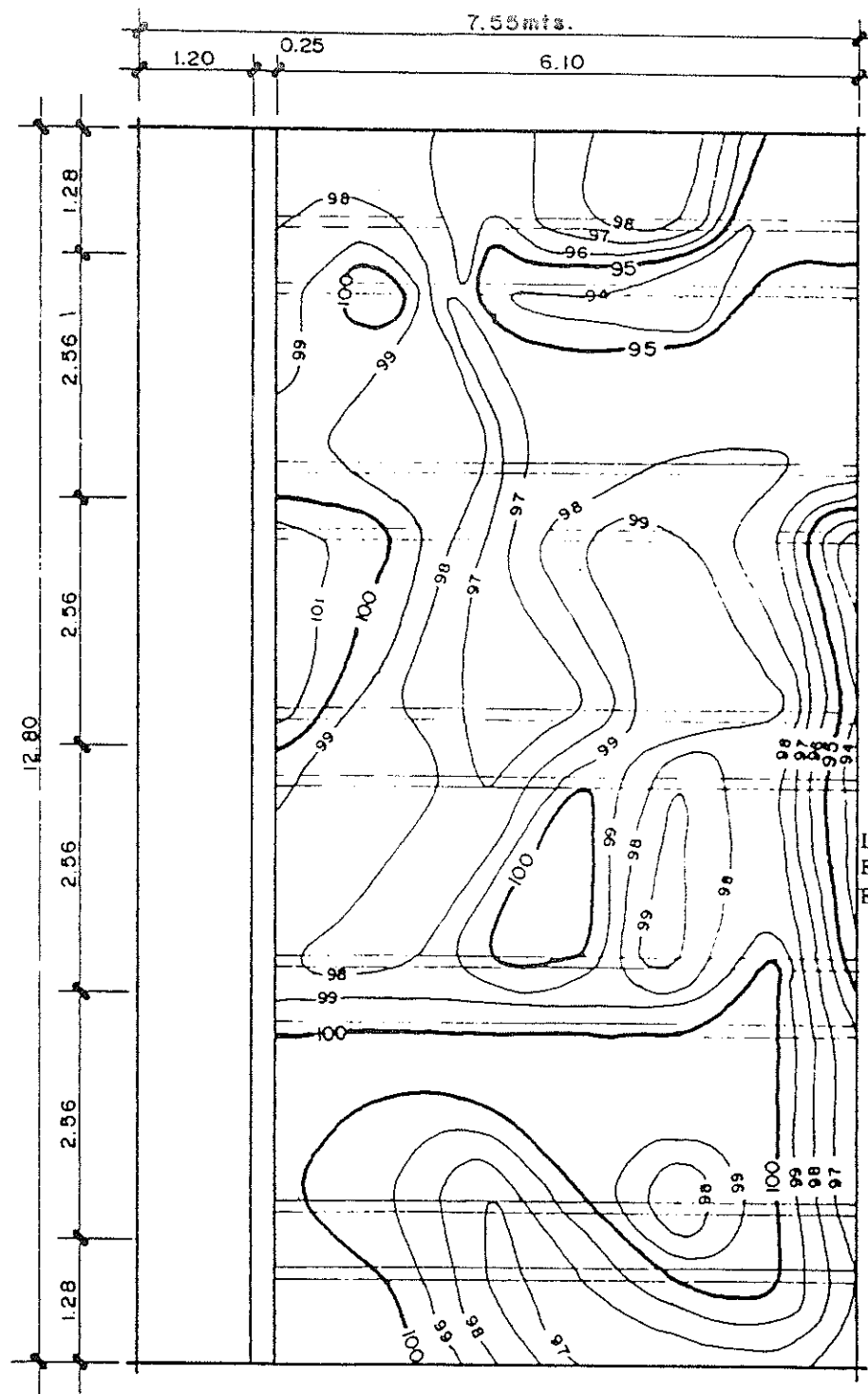
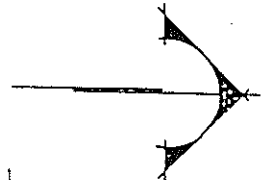
$T$  = Tiempo en que el nivel del filtro descendió una distancia  $H$

$H$  = Altura que se tomó como base para obtener el tiempo de descenso del agua en metros.

$V_f$  = Volumen filtrado =  $A_f \times H$  [  $m^3$  ]

$V_f$  = Velocidad de filtración =  $\frac{V_f \times 86400}{A_f \times T}$  [  $m^3 / m^2 / \text{día}$  ]

En el cuadro 4.11 se presentan los resultados de este ensayo.



LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN CMS.

GRAFICA 4.25

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA  
**DIRECCION DE PLANIFICACION**  
 UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO

CALCULO  
 DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS  
 REVISO : JORGE MARTINEZ

FECHA : SEPTIEMBRE '95  
 ESCALA : 1 : 75

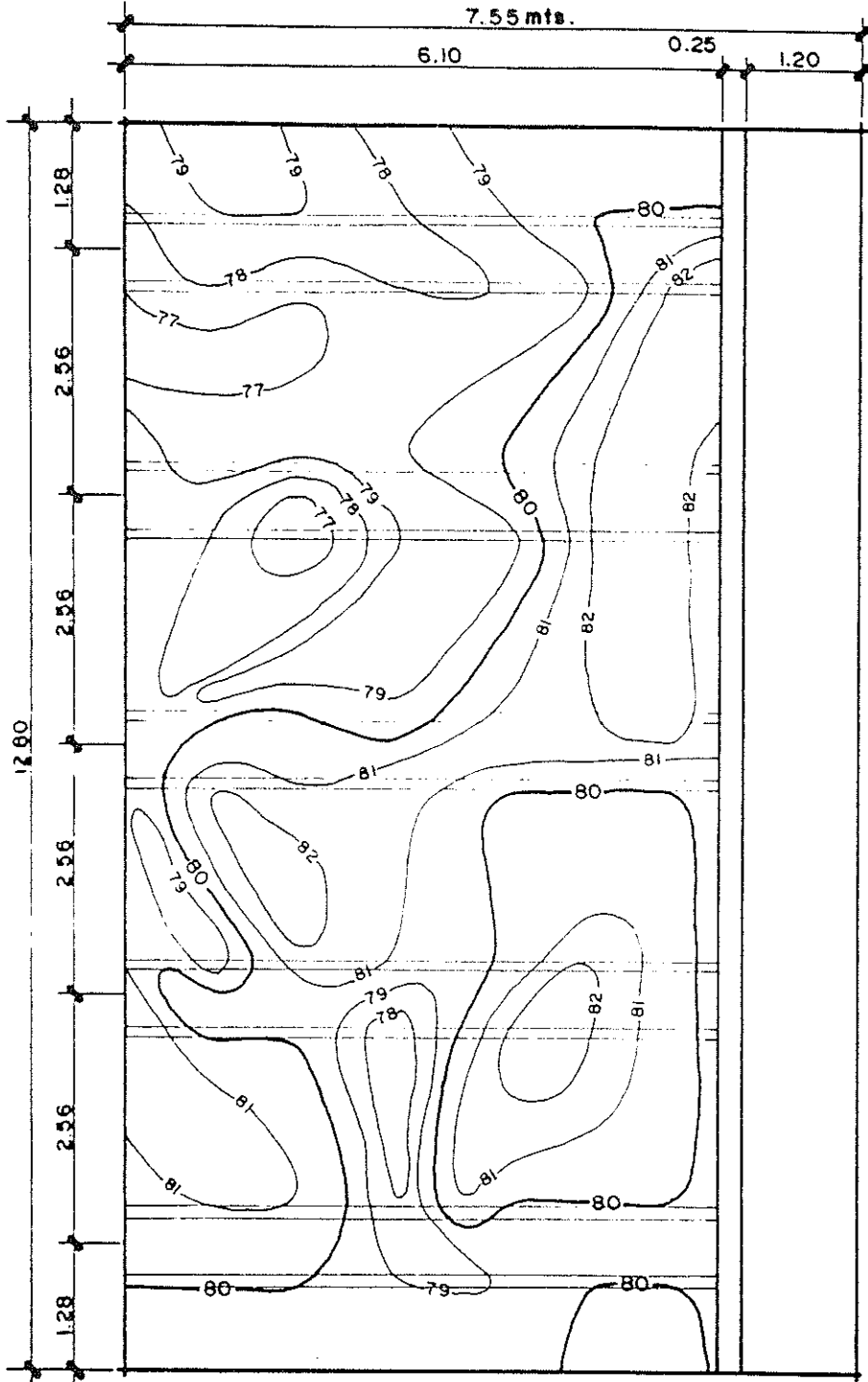
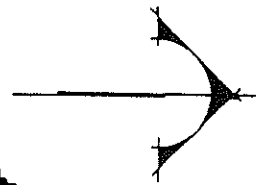
**FILTRO # I**

**TOPOGRAFIA DE UN  
 LECHO DE GRAVA**

HOJA No.



73



LAS DIMENSIONES ESTAN DADAS EN CMS.

GRAFICA 4.26

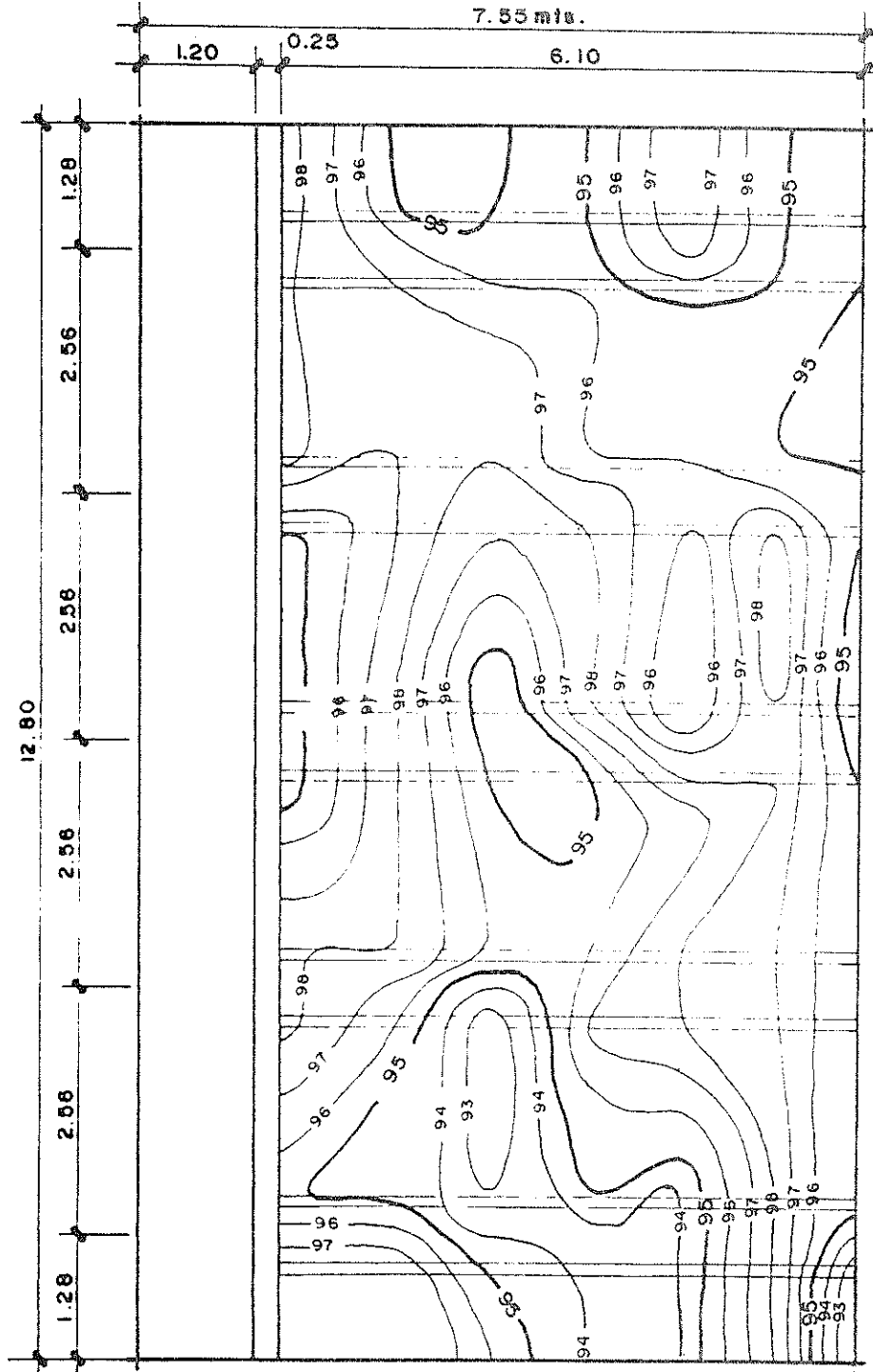
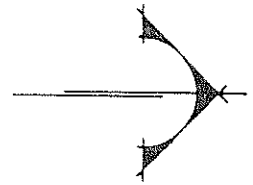
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA  
**DIRECCION DE PLANIFICACION**  
 UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO

CALCULO :  
 DIBUJO : Sr. ROBERTO BARRIOS  
 REVISO : JORGE MARTINEZ

FECHA : OCTUBRE '95  
 ESCALA : 1 : 75

**FILTRO # 2**

**TOPOGRAFIA DE UN  
LECHO DE GRAVA**



LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN CMS.

GRAFICA 4.27

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

**DIRECCION DE PLANIFICACION**

UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO

CALCULO :

DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS

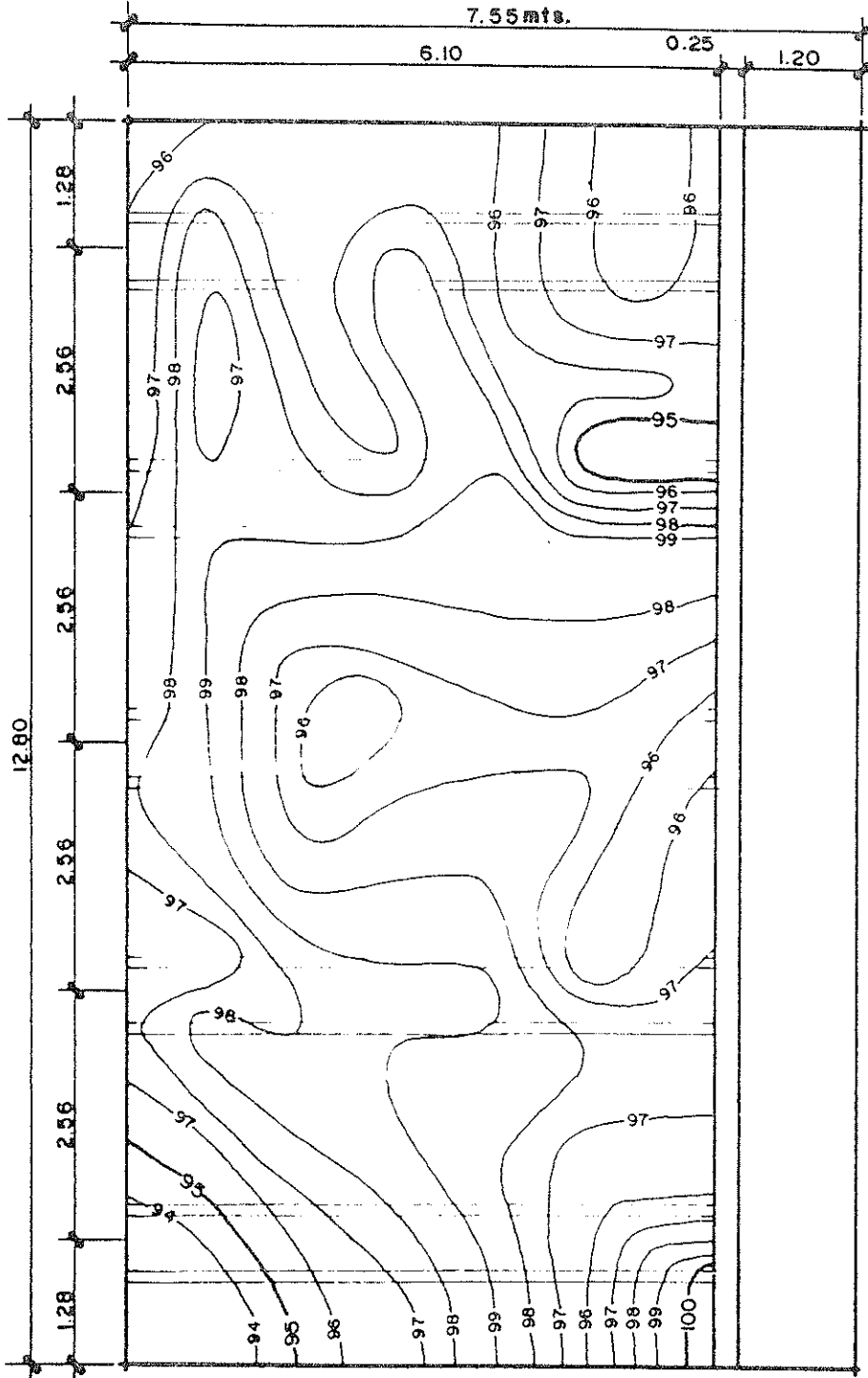
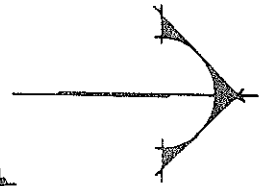
REVISO : JORGE MARTINEZ

FECHA : SEPTIEMBRE '95

ESCALA : 1 : 75

**FILTRO # 3**

**TOPOGRAFIA DE UN  
LECHO DE GRAVA**



LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN CMS.

CURVAS DE NIVEL DE ALTURA DE GRAVA A CADA CENTIMETRO

GRAFICA 4.28

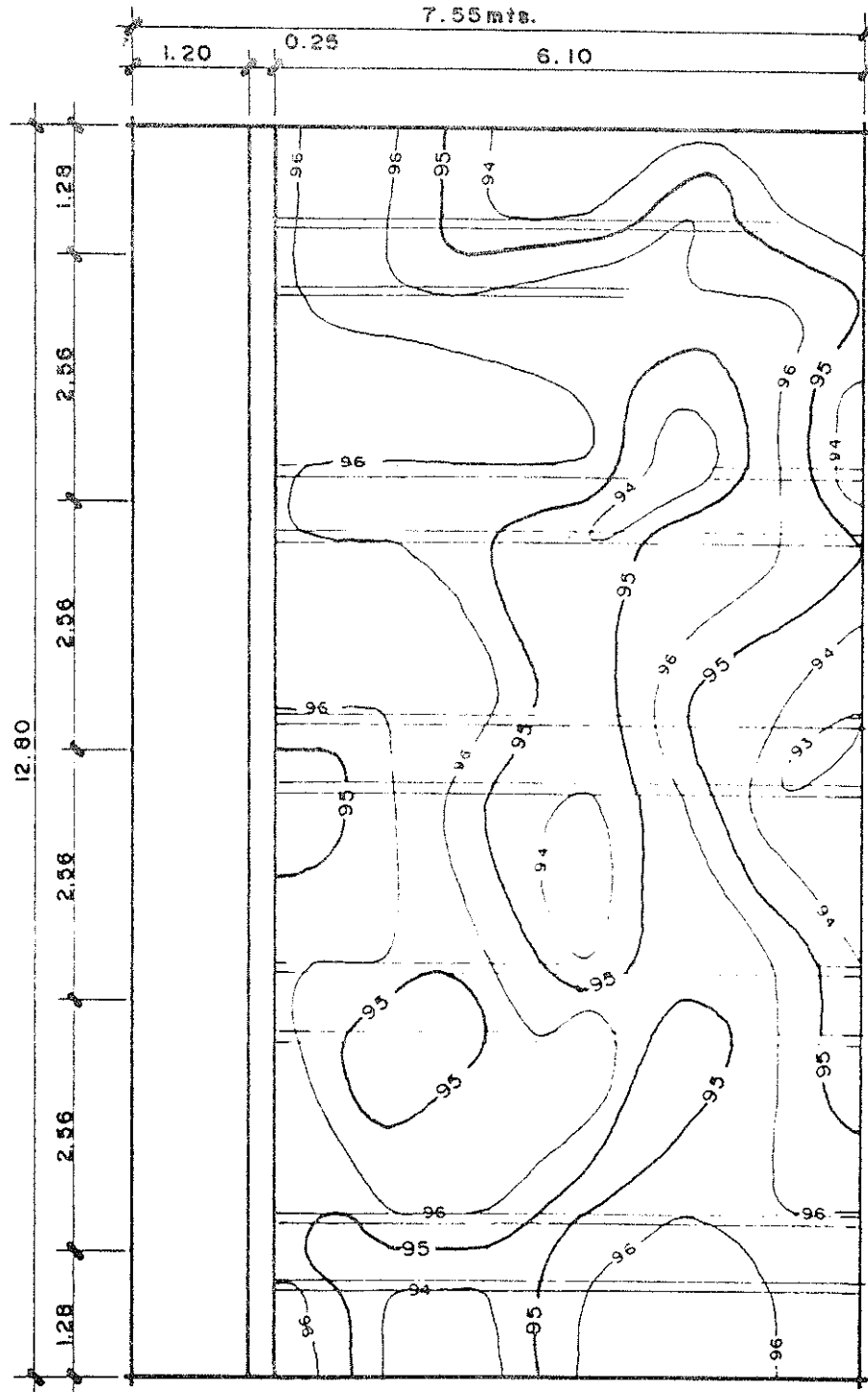
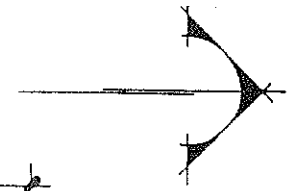
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA  
**DIRECCION DE PLANIFICACION**  
 UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO

CALCULO :  
 DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS  
 REVISO : JORGE MARTINEZ

FECHA : OCTUBRE '95  
 ESCALA : 1 : 75

FILTRO # 4

TOPOGRAFIA DE UN  
 LECHO DE GRAVA



LAS DIMENSIONES  
ESTÁN DADAS  
EN CMS.

GRAFICA 4.29

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

**DIRECCION DE PLANIFICACION**

UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO

CALCULO :

DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS

REVISO : JORGE MARTINEZ

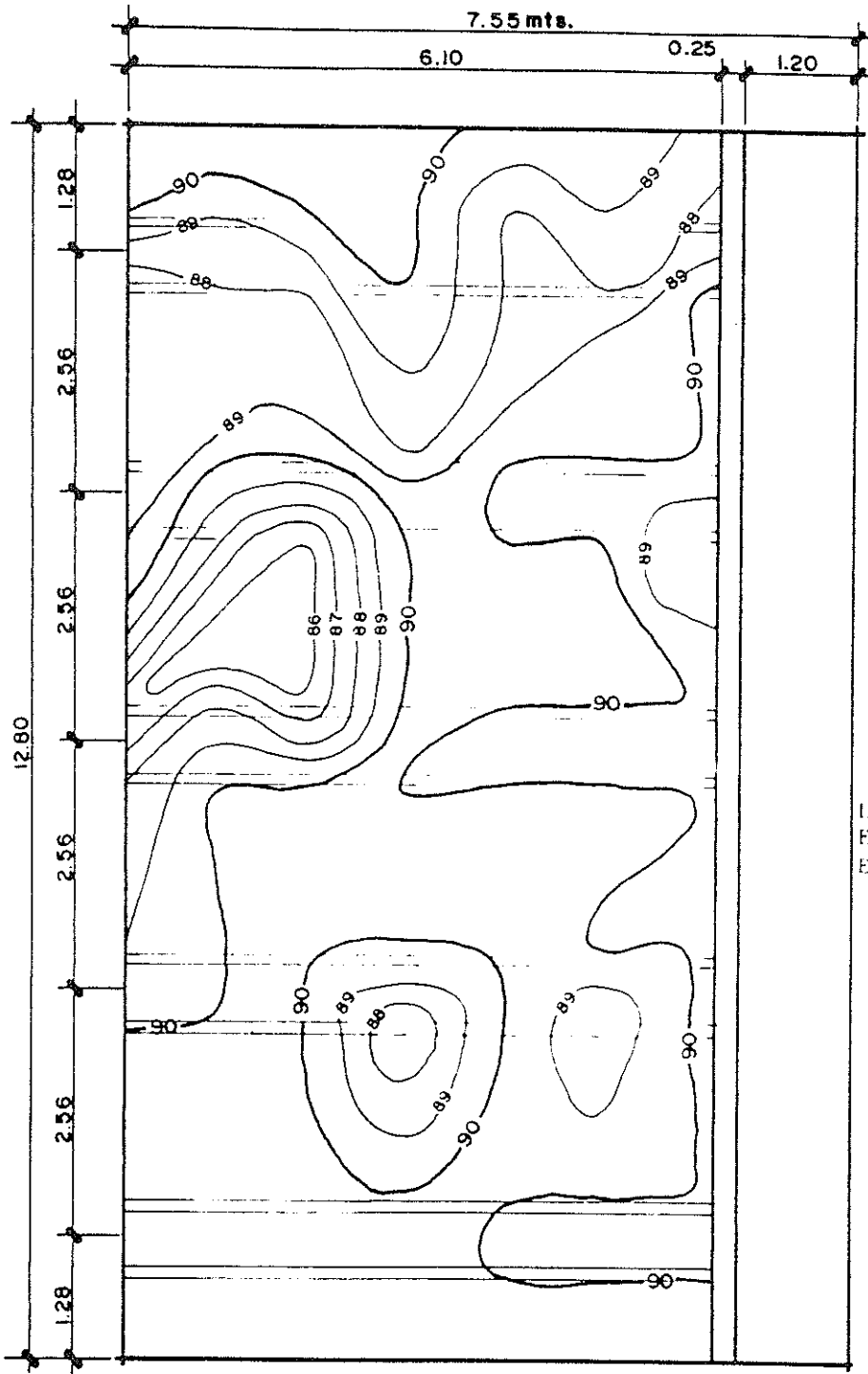
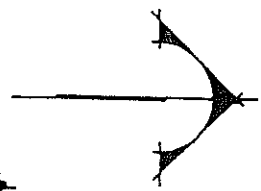
FECHA : OCTUBRE '95

ESCALA : 1 : 75

**FILTRO # 5**

**TOPOGRAFIA DE UN  
LECHO DE GRAVA**





LAS DIMENSIONES ESTÁN DADAS EN CMS.

GRAFICA 4.30

EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA		CALCULO :	
<b>DIRECCION DE PLANIFICACION</b>		DIBUJO : Br. ROBERTO BARRIOS	
UNIDAD DE DISEÑO DE AGUA Y ALCANTARILLADO		REVISO : JORGE MARTINEZ	
FECHA : OCTUBRE '95	FILTRO # 6	TOPOGRAFIA DE UN LECHO DE GRAVA	
ESCALA : 1 : 75			

**Cuadro 4.11**  
**Velocidad y Caudal de Filtración**

Filtro	$A_F$ $m^2$	$A_f$ $m^2$	H metros	T seg.	$\nabla_F$ $m^3$	$\nabla_F$ $m^3 / m^2 / día$	* Q l/s
1	96.64	78.08	0.3	97	29	331	1375
2	96.64	78.08	0.3	112	29	287	1300
3	96.64	78.08	0.3	72	29	446	1400
4	96.64	78.08	0.3	126	29	255	1225
5	96.64	78.08	0.3	119	29	270	1300
6	96.64	78.08	0.3	108	29	297	1320

\* Caudal con que estaba operando la planta en el momento, de la evaluación de cada filtro.

#### 4.1.3.2. Pérdida de Carga

Se encontró la variación de pérdida de carga, de acuerdo al avance de la carrera de filtración en los seis filtros de la planta, los datos de campo se presentan en el cuadro 4.12 y las curvas de pérdida de carga en metros, en relación a la carrera de filtración en horas, se presentan en las gráficas No. 4.31 a No.4.36.

#### 4.1.3.3 Fluctuaciones de Pérdida de Carga

De acuerdo al procedimiento descrito en la sección 3.3.3, se obtuvieron los datos de fluctuación de pérdida de carga que se presentan en los cuadros números 4.13, 4.14 y 4.15.

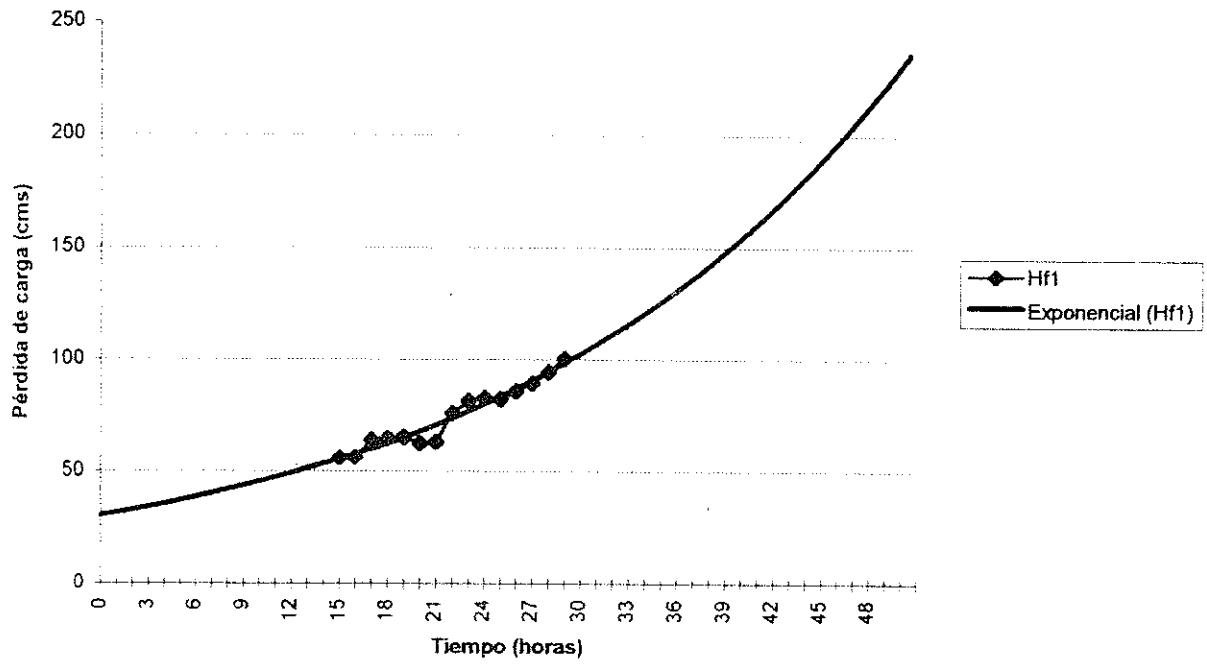
Es conveniente recordar que:

$$\% = \frac{\Delta h \times 100}{H_f}$$

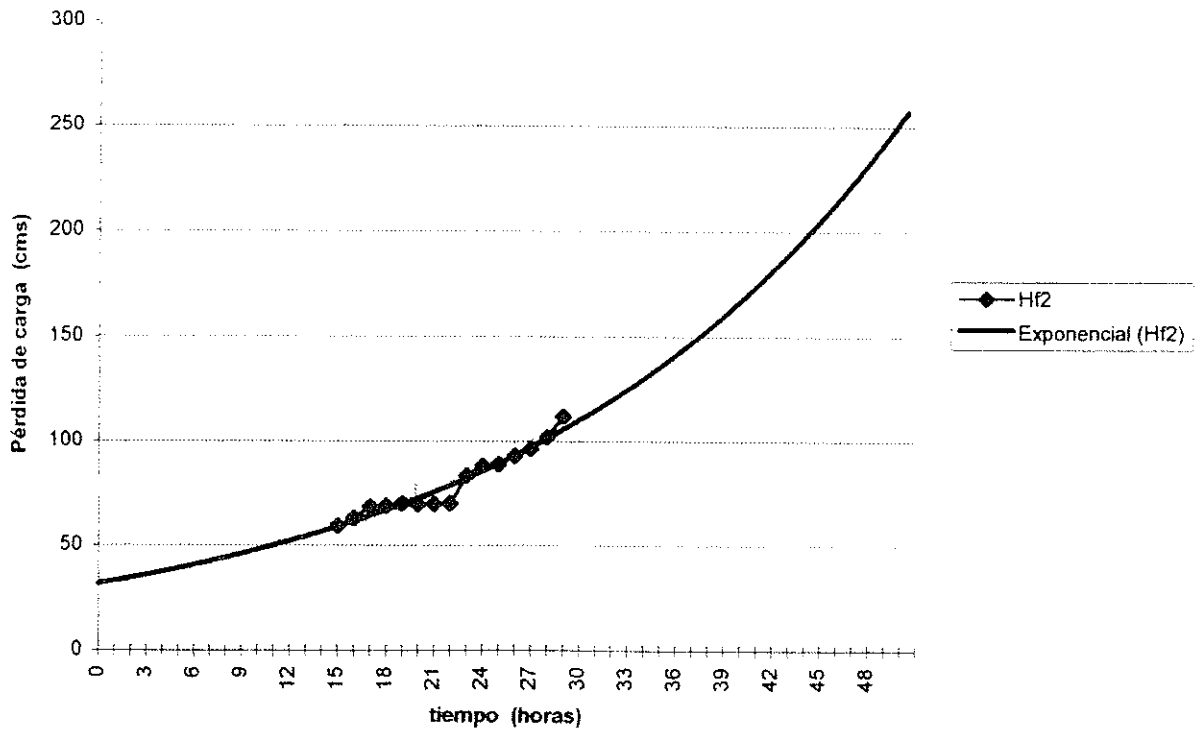
CUADRO 4.12  
Evolución de la Pérdida de Carga versus Carrera de Filtración

Tiempo horas	filtro 1			filtro 2			filtro 3			filtro 4			filtro 5			filtro 6		
	H1 cms	H2 cms	H11 cms	H1 cms	H2 cms	H12 cms	H1 cms	H2 cms	H13 cms	H1 cms	H2 cms	H14 cms	H1 cms	H2 cms	H15 cms	H1 cms	H2 cms	H16 cms
0	128.00	6.50	119.50	125.50	7.00	118.5	135.50	7.00	128.5	135.00	6.50	128.50	133.50	7.50	128.00	132.50	6.00	124.50
1	136.75	6.50	130.25	135.75	7.00	128.75	144.50	6.00	138.50	143.50	6.50	137.00	140.75	7.50	133.25	140.50	6.00	132.50
2	123.50	6.50	117.00	121.50	7.00	114.5	124.50	6.00	116.50	128.50	6.50	122.00	127.50	7.00	120.50	128.50	7.00	118.50
3	117.25	6.50	110.75	115.50	7.00	108.5	119.50	6.00	111.50	124.00	6.50	117.50	123.50	7.00	116.50	122.25	7.00	115.25
4	104.00	5.50	98.50	104.00	6.00	98	106.50	6.00	98.50	110.50	6.00	104.50	110.00	6.50	103.50	109.50	7.00	102.50
5	99.50	6.00	93.50	97.00	6.50	90.5	101.50	6.00	93.50	104.75	6.00	98.75	103.50	6.50	97.00	102.75	7.00	95.75
6	92.75	5.50	87.25	90.50	6.00	84.5	93.50	7.50	88.00	97.50	5.50	92.00	96.50	6.50	90.00	96.00	6.50	89.50
7	84.75	5.00	79.75	84.00	6.00	78	88.75	7.00	81.75	92.00	5.30	88.70	91.25	6.00	85.25	91.00	6.50	84.50
8	85.00	5.00	80.00	84.50	6.00	78.5	86.75	7.00	79.75	90.50	5.30	85.70	81.50	6.00	85.50	89.50	6.50	83.00
9	84.25	5.00	79.25	82.00	5.30	76.7	86.00	6.50	79.50	89.50	5.30	84.20	89.00	6.00	83.00	86.00	6.00	80.00
10	94.75	5.00	89.75	94.50	5.20	89.3	97.50	7.00	90.50	100.50	6.00	94.50	99.50	6.00	93.50	97.50	6.00	91.50
11	98.00	5.00	91.00	94.75	5.00	88.75	97.75	7.00	90.75	101.75	6.00	95.75	101.50	6.00	95.50	101.50	6.00	95.50
12	86.50	5.00	81.50	85.50	5.00	80.5	89.00	7.00	82.00	91.50	6.00	85.50	91.00	6.00	85.00	90.50	6.00	84.50
13	85.00	5.00	80.00	83.50	5.00	78.5	85.50	6.80	78.70	89.50	5.80	83.70	88.50	5.80	82.70	87.50	6.00	81.50
14	84.50	7.00	77.50	83.00	5.20	77.8	85.50	6.80	78.70	89.00	6.00	83.00	88.50	6.00	82.50	87.25	6.00	81.25
15	62.75	6.50	56.25	65.50	6.00	59.5	70.50	5.50	65.00	72.50	5.50	67.00	70.50	5.50	65.00	70.50	5.50	65.00
16	69.50	7.00	56.50	68.50	5.50	63	71.50	5.00	66.50	74.50	5.00	69.50	74.50	5.00	68.50	74.50	5.00	69.50
17	71.50	7.00	64.50	74.75	6.00	68.75	78.50	6.00	72.50	80.50	5.50	75.00	80.75	5.50	75.25	79.00	6.00	73.00
18	72.25	7.00	65.25	75.00	6.00	68	79.00	6.00	73.00	81.75	5.50	78.25	81.75	5.50	78.25	81.00	6.00	75.00
19	72.75	7.00	65.75	75.75	5.50	70.25	78.75	5.50	73.25	82.50	5.00	77.50	82.50	5.00	77.50	82.75	6.00	78.75
20	70.00	7.00	63.00	75.75	5.80	68.95	77.75	5.80	71.95	75.75	5.50	70.25	78.75	5.00	71.75	77.75	5.80	71.95
21	70.75	7.00	63.75	75.50	5.50	70	77.50	5.50	72.00	74.75	5.50	69.25	76.50	5.50	71.00	77.25	5.80	71.45
22	84.00	7.50	76.50	78.25	5.80	70.45	77.75	5.50	72.25	75.00	5.50	68.50	77.75	5.50	72.25	78.50	5.80	72.70
23	89.50	7.50	82.00	89.50	6.00	83.5	91.50	6.00	85.50	94.50	6.00	88.50	94.50	6.00	88.50	94.50	6.00	88.50
24	90.75	7.50	83.25	94.50	6.00	88.5	99.20	6.00	93.20	101.00	6.00	95.00	101.50	6.00	95.50	101.25	6.00	95.25
25	90.25	7.50	82.75	95.75	6.50	89.25	101.25	6.80	94.75	103.75	6.00	97.75	103.75	6.50	97.25	102.75	6.50	96.25
26	93.75	7.50	86.25	99.50	6.20	93.3	103.75	6.20	97.55	108.50	6.00	100.50	106.50	6.30	100.20	105.50	6.30	99.20
27	97.50	8.00	89.50	102.50	6.00	96.5	106.25	6.00	100.25	110.75	6.00	104.75	110.75	6.00	104.75	109.75	6.30	103.45
28	102.50	8.00	94.50	108.50	6.50	102	102.50	6.00	98.50	115.50	6.00	109.50	114.50	6.00	108.50	114.50	6.30	108.20
29	108.50	8.00	100.50	118.50	6.50	112	120.50	6.50	114.00	126.50	6.00	120.50	125.50	6.50	118.00	124.50	6.00	118.50

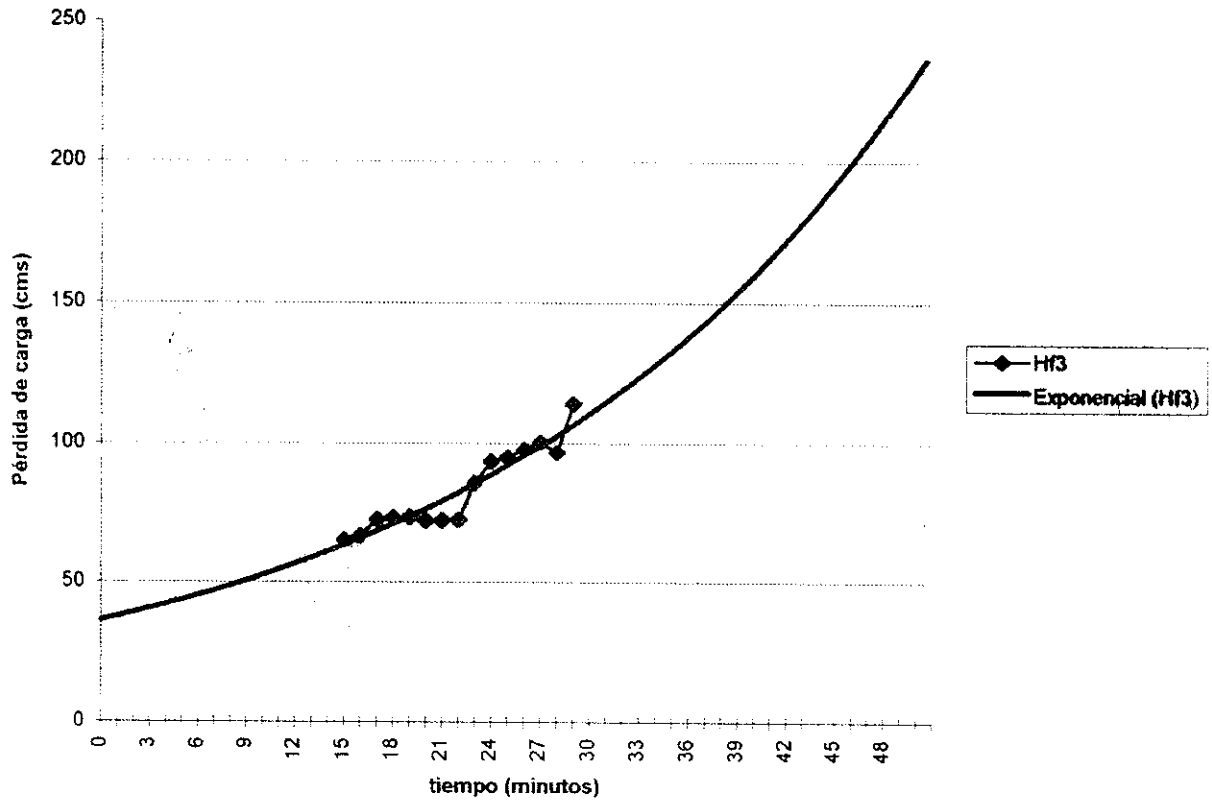
GRAFICA 4.31  
PERDIDA DE CARGA. FILTRO No.1



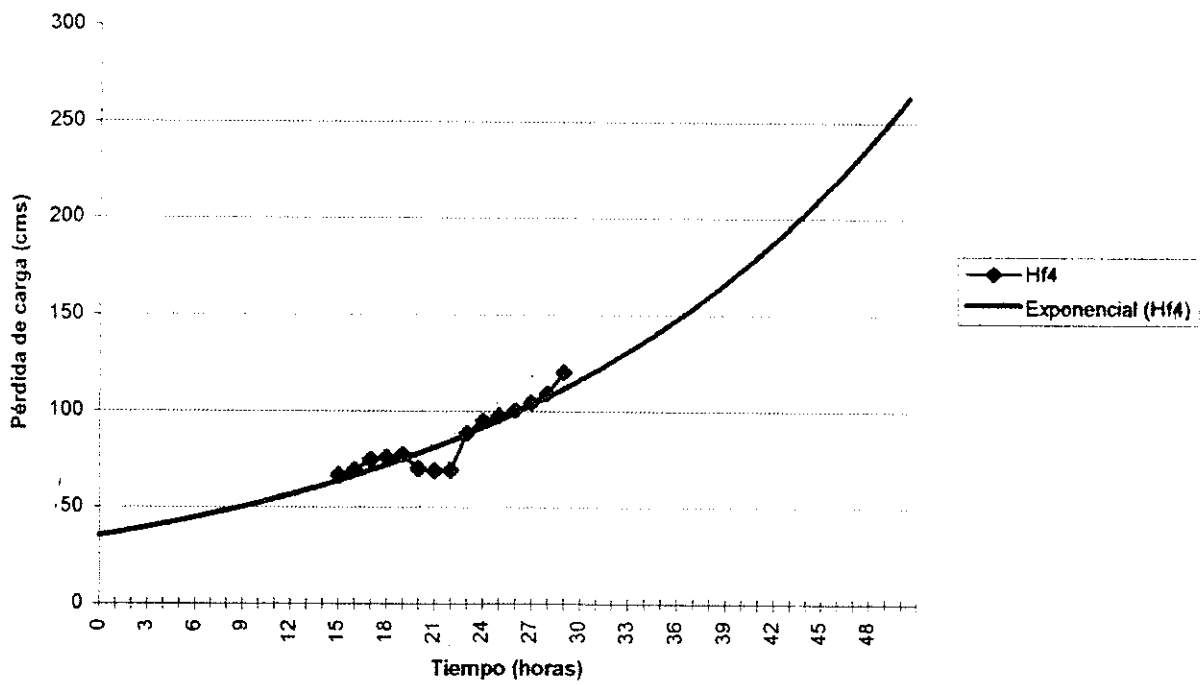
GRAFICA 4.32  
PERDIDA DE CARGA. FILTRO No. 2



GRAFICA 4.33  
 PERDIDA DE CARGA. FILTRO No. 3



GRAFICA 4.34  
 PERDIDA DE CARGA. FILTRO No. 4



**Cuadro 4.15**  
**Fluctuaciones de Pérdida de Carga**

**FILTRO No. 5**

Q <sub>filtrado</sub> lts/seg	H <sub>f</sub> cm.	Fluctuación	
		h <sub>2</sub> - h <sub>1</sub> cm.	%
227.00	85.25	1.50	1.76
227.00	85.30	1.50	1.76
215.00	85.30	1.00	1.17
227.00	85.30	1.50	1.76
215.00	85.40	1.00	1.17
221.00	85.40	1.25	1.46
227.00	85.40	1.50	1.76
221.00	85.30	1.25	1.47
215.00	85.40	1.00	1.17
215.00	85.40	1.00	1.17
221.00	85.50	1.25	1.46
215.00	85.40	1.00	1.17

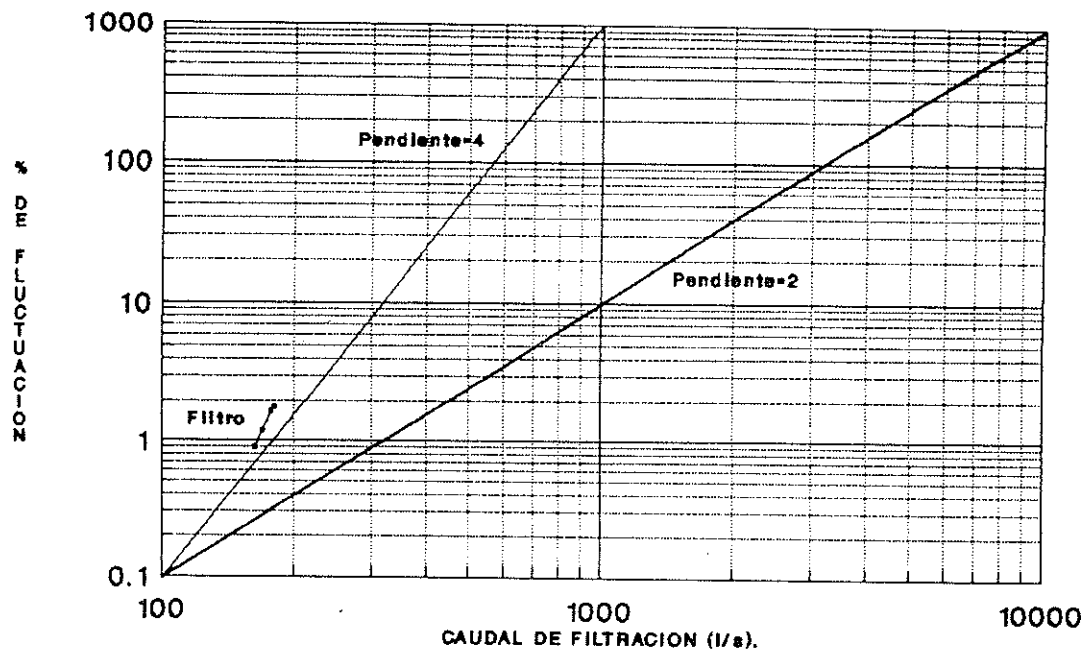
**FILTRO No. 6**

Q <sub>filtrado</sub> lts/seg	H <sub>f</sub> cm.	Fluctuación	
		h <sub>2</sub> - h <sub>1</sub> cm.	%
258.00	84.50	1.50	1.78
270.00	84.50	2.00	2.37
258.00	84.50	1.50	1.78
258.00	84.50	1.50	1.78
258.00	84.55	1.50	1.77
270.00	84.60	2.00	2.36
264.00	84.60	1.75	2.07
258.00	84.70	1.50	1.77
270.00	84.70	2.00	2.36
264.00	84.80	1.75	2.06
252.00	84.80	1.25	1.47
258.00	84.80	1.50	1.77

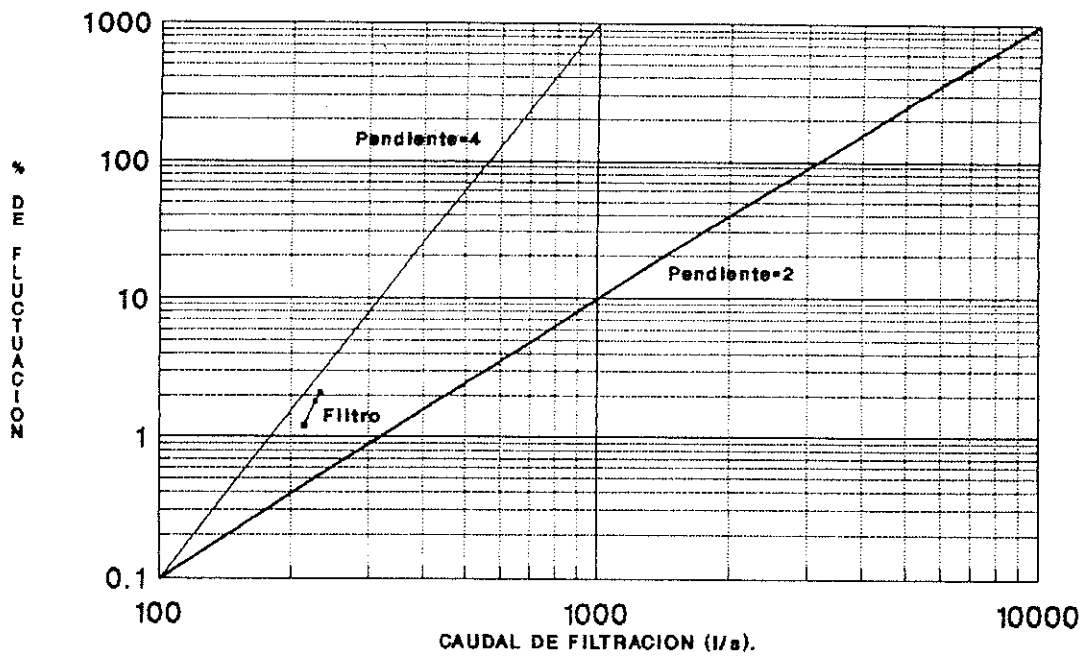
De los cuadros 4.13, 4.14, y 4.15 se obtienen los valores para trazar en papel logarítmico, las curvas del porcentaje de fluctuación de pérdida de carga en función de la cantidad de agua filtrada, las cuales se muestran en las gráficas 4.37 a 4.42. Para interpretar el resultado, hay que referirse al Cuadro 4.16.

**Cuadro 4.16**  
**Tangente de la Curva de % de Fluctuación**  
**de Pérdida de Carga Vrs. Calidad del Agua**

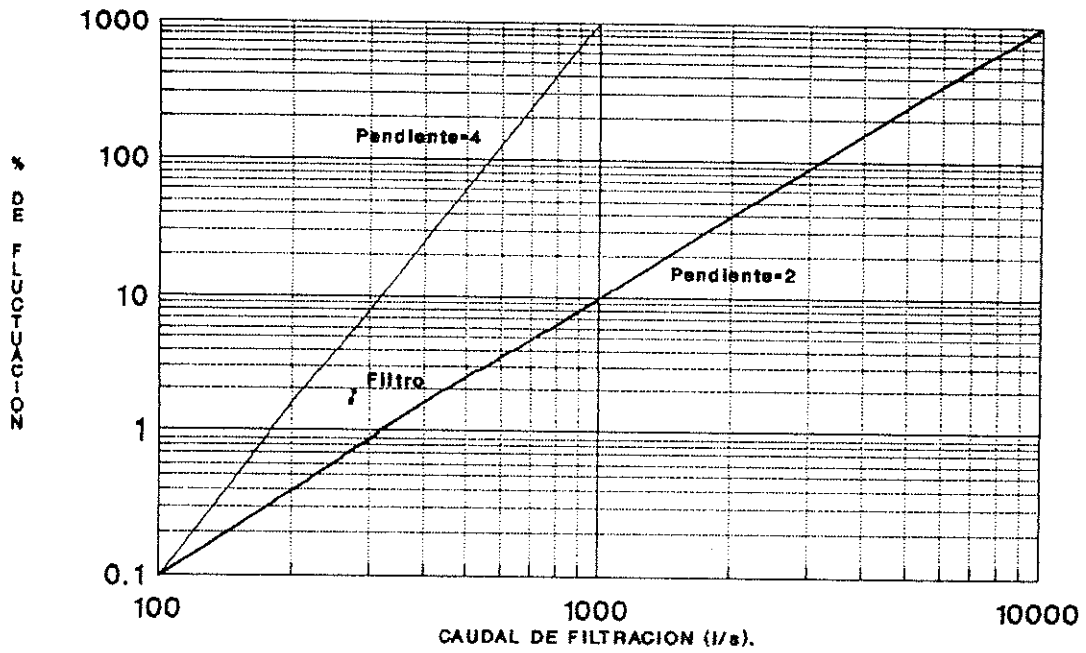
Calidad del Agua	% de Fluctuación de la Pérdida de Carga
Buena	2% ó menos
Mediana	4%
Mala	6%



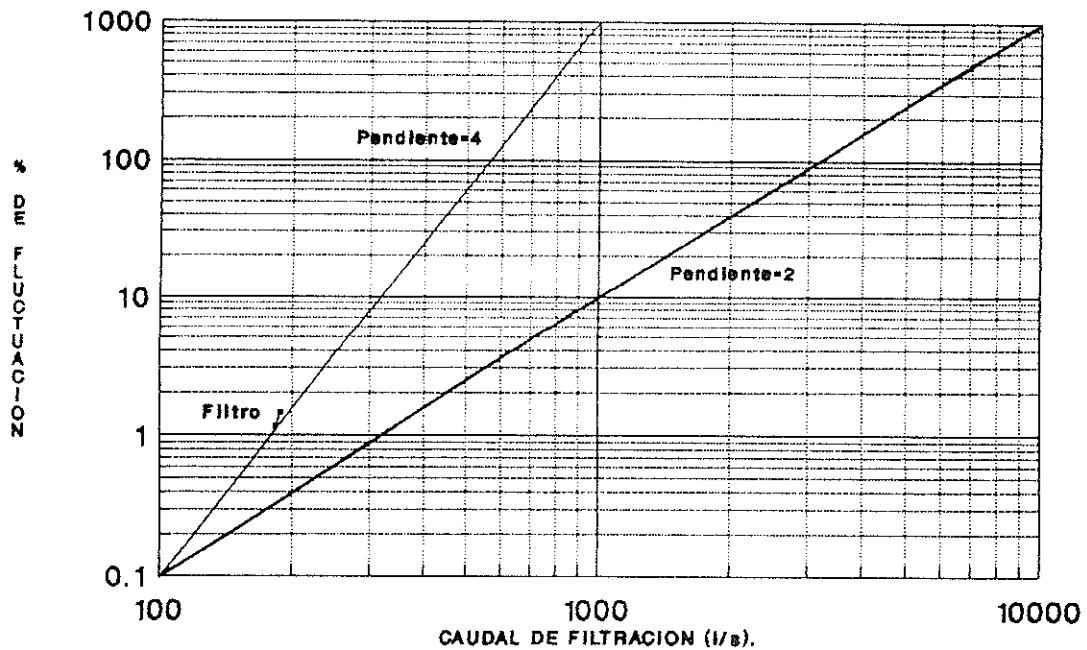
**Grafica 4.37. Amplitud de la fluctuación de pérdida de carga, filtro 1**



**Grafica 4.38. Amplitud de la fluctuación de pérdida de carga, filtro 2**

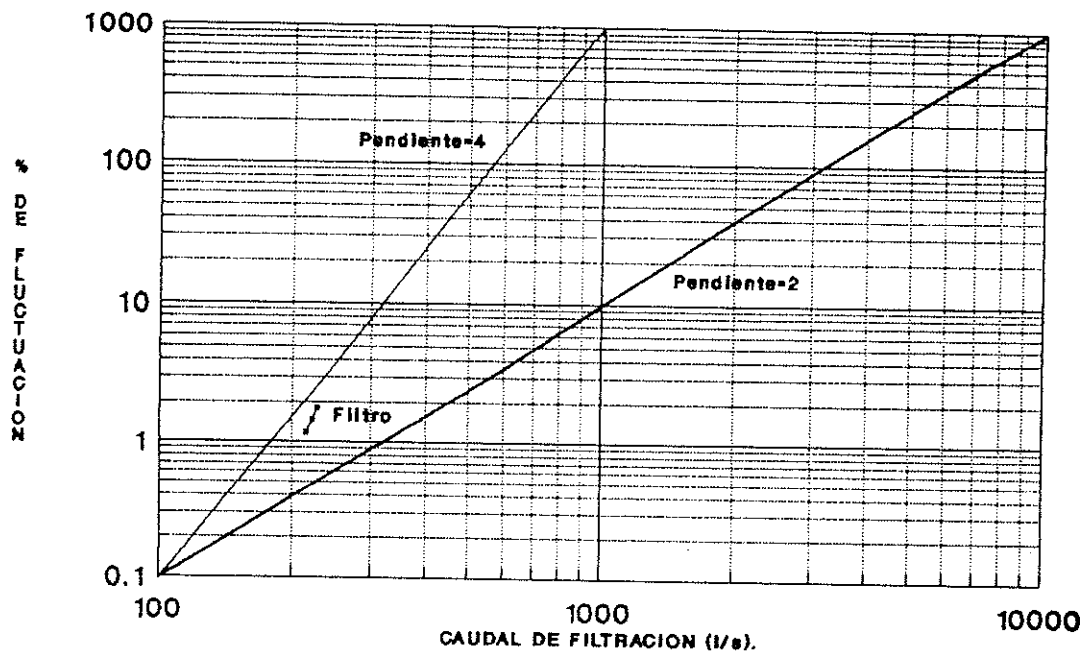


Grafica 4.39. Amplitud de la fluctuación de pérdida de carga, filtro 3

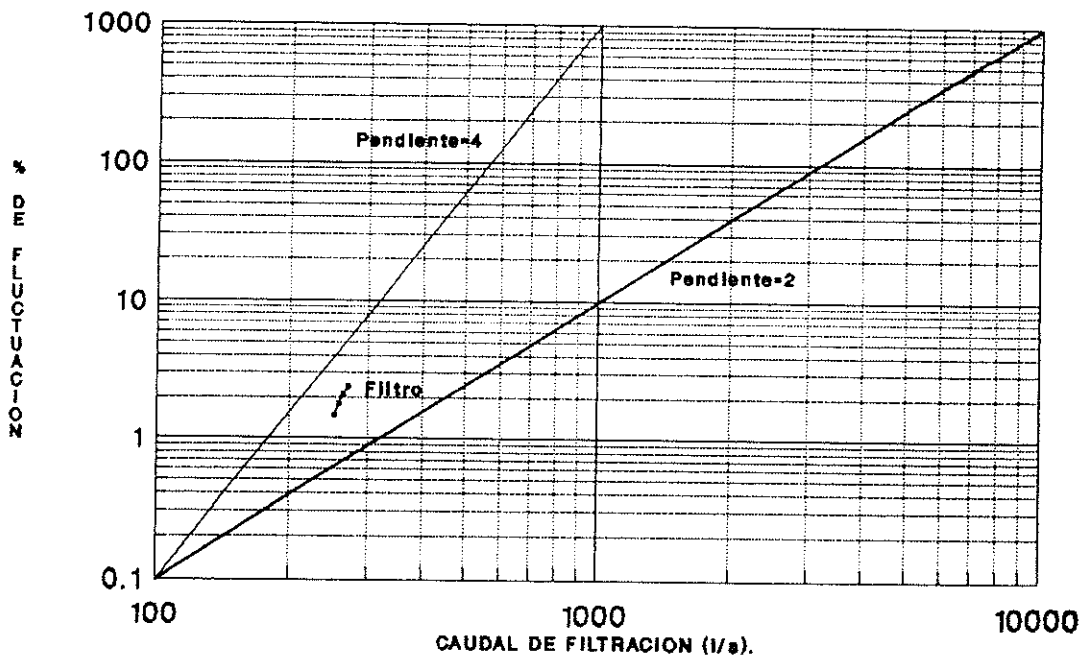


Grafica 4.40. Amplitud de la fluctuación de pérdida de carga, filtro 4





Grafica 4.41. Amplitud de la fluctuación de pérdida de carga, filtro 5



Grafica 4.42. Amplitud de la fluctuación de pérdida de carga, filtro 6.

#### 4.1.3.4 Calidad del agua de la Etapa Inicial de Filtración

En el cuadro 4.17 se incluyen los datos de turbiedad obtenidos en los seis filtros de la planta Lo de Coy, siguiendo el procedimiento descrito en el numeral 3.3.4.3, los cuales dieron origen a las gráficas 4.43 a 4.47.

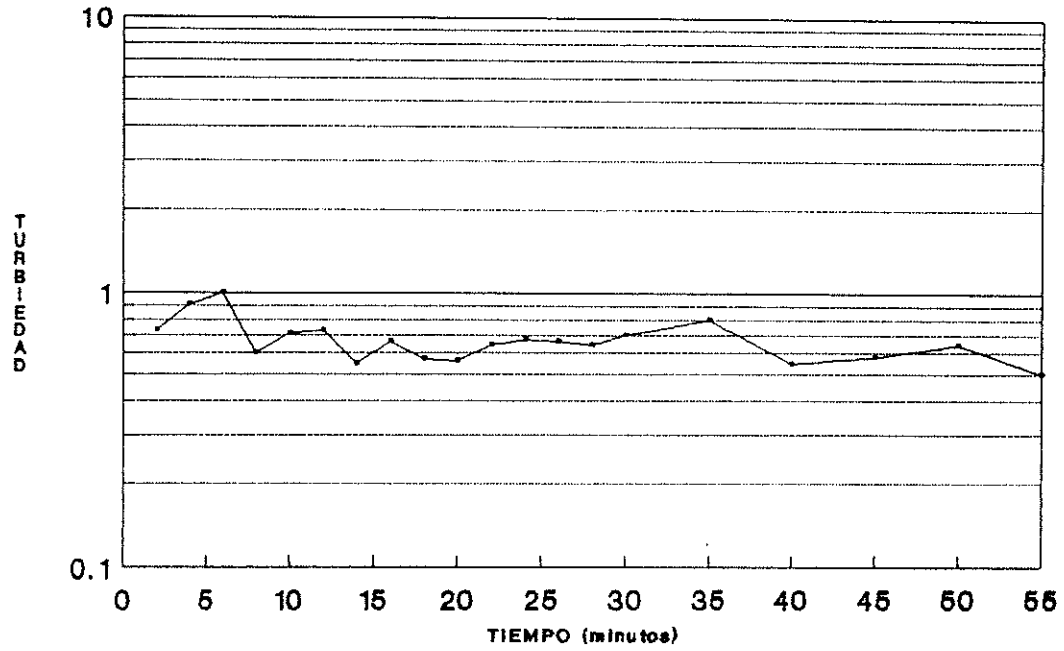
**Cuadro 4.17**  
**Turbiedad al Iniciar La Filtración**

Tiempo Minutos	Filtro 1 Turbiedad	Filtro 2 Turbiedad	Filtro 3 Turbiedad	Filtro 4 Turbiedad	Filtro 5 Turbiedad	Filtro 6 Turbiedad
2	0.73	1.9	1.4	4.0	2.6	1.2
4	0.91	1.9	1.6	4.0	2.7	1.7
6	1.0	1.6	1.2	3.5	2.6	2.5
8	0.6	1.3	1.4	3.0	2.3	1.4
10	0.71	1.1	1.3	2.9	2.1	1.4
12	0.73	1.4	1.1	2.5	2.2	1.4
14	0.55	1.1	1.2	2.3	2.0	1.3
16	0.66	0.98	1.0	2.1	1.9	1.2
18	0.57	1.0	1.1	1.9	1.8	1.2
20	0.56	0.96	1.1	1.3	1.6	1.1
22	0.64	0.94	0.95	1.3	1.6	1.0
24	0.67	0.91	0.95	1.2	1.5	1.0
26	0.66	0.80	1.1	1.3	1.4	1.0
28	0.64	0.67	1.0	1.0	1.6	0.9
30	0.70	0.71	1.3	1.0	1.4	0.9
35	0.80	0.63	0.96	1.0	1.4	0.8
40	0.55	0.76	0.87	1.0	1.5	0.8
45	0.58	0.64	0.86	1.0	1.5	0.8
50	0.64	0.61	0.82	1.0	1.6	0.8
55	0.50	0.50	0.80	1.0	1.6	0.7

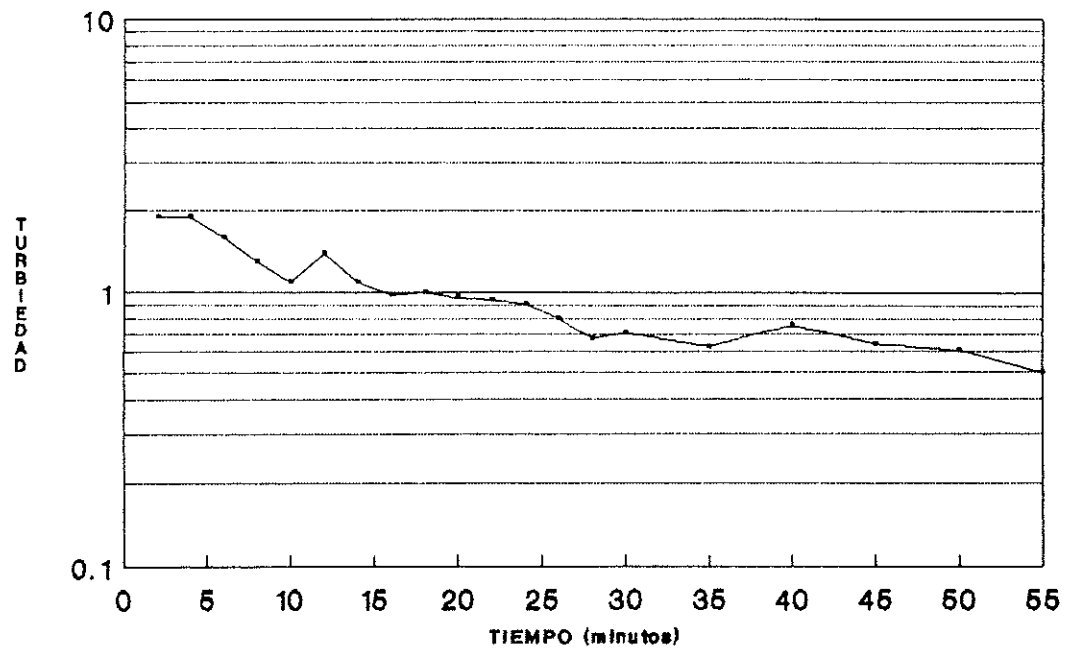
#### 4.1.4 Eficiencia del Proceso de Filtración

##### 4.1.4.1 Remoción de Turbiedad

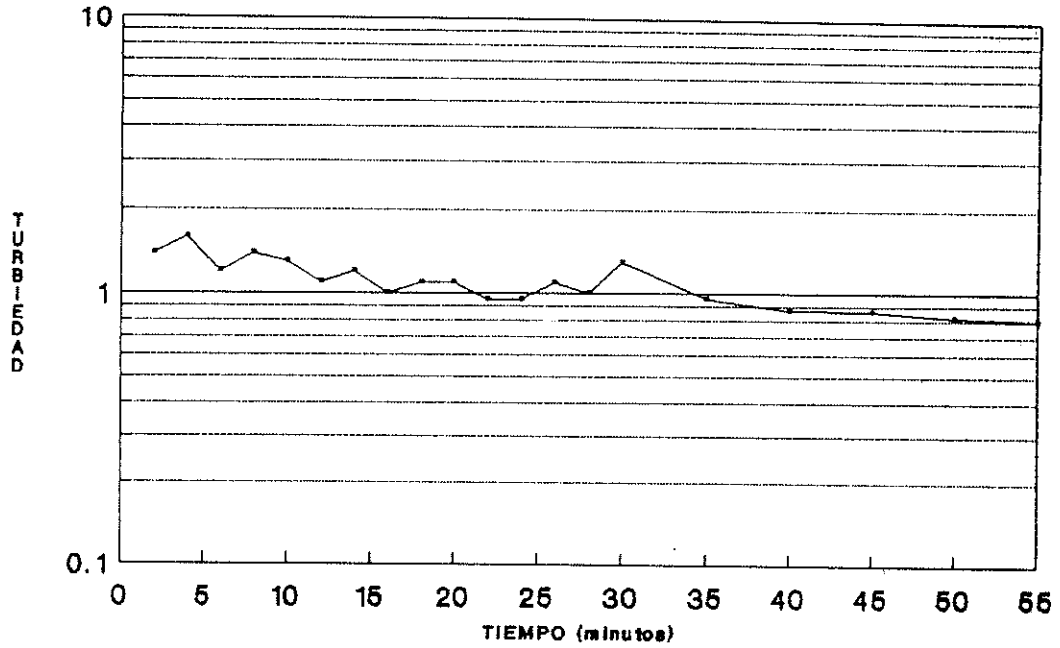
Según el procedimiento descrito en el numeral 3.4.1, se obtuvieron los datos que se presentan en los cuadros 4.18 a 4.23, con estos datos se realizó el análisis estadístico de frecuencia acumulada, el que se presenta en los cuadros 4.24 a 4.29 y posteriormente se trazaron las gráficas 4.49 a 4.54 donde se puede observar que, en promedio, el 90% del tiempo de operación se está produciendo agua con turbiedad abajo del límite máximo aceptable 5 UTN, el otro 10% del tiempo se produce agua con turbiedad arriba de este límite pero abajo del límite máximo permisible de 25 UTN.



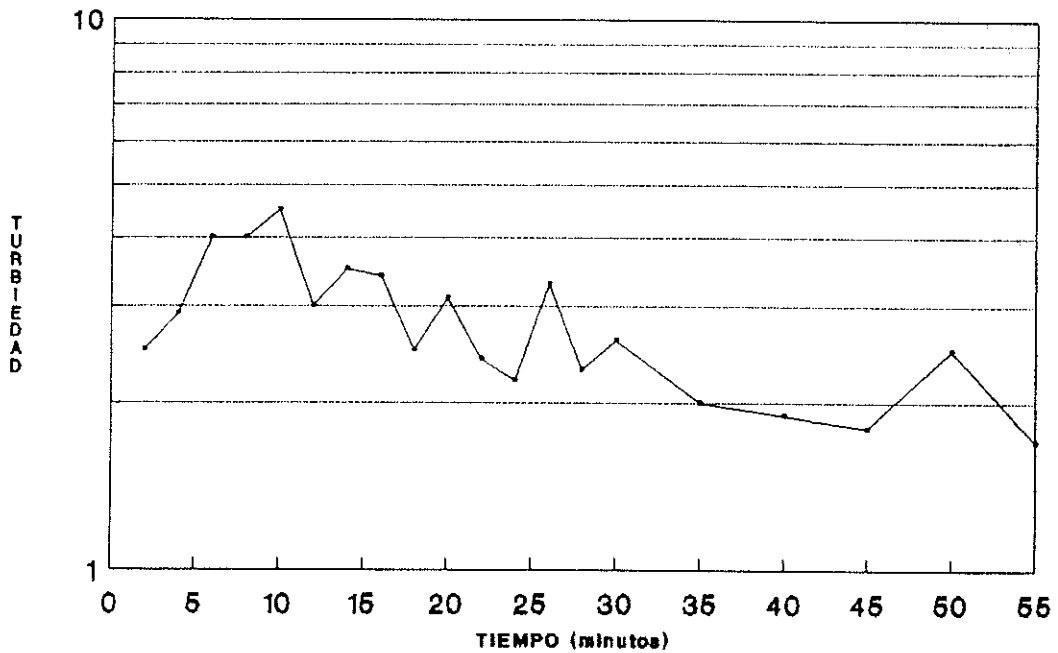
**Grafica 4.43. Calidad del agua al inicio del funcionamiento del filtro #1**



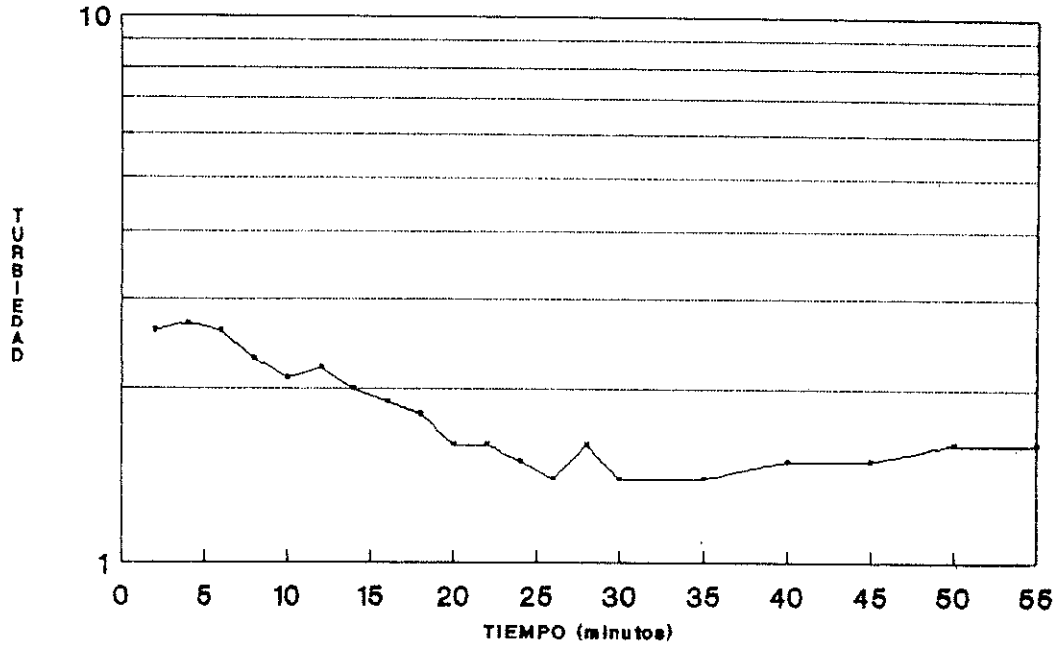
**Grafica 4.44. Calidad del agua al inicio del funcionamiento del filtro #2**



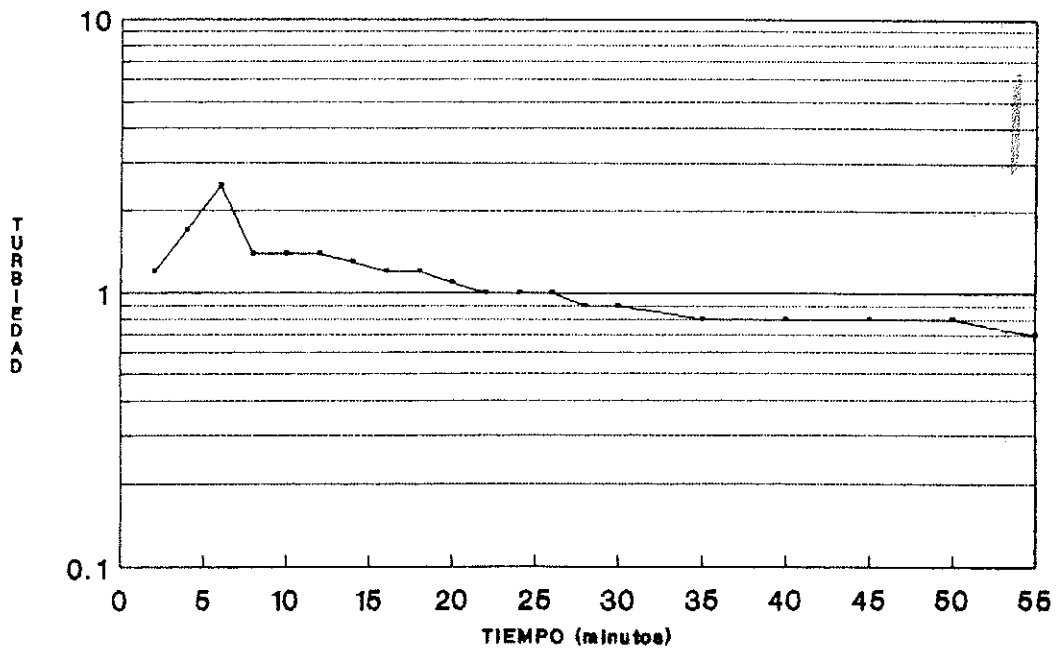
Grafica 4.45. Calidad del agua al inicio del funcionamiento del filtro #3



Grafica 4.46. Calidad del agua al inicio del funcionamiento del filtro #4



Grafica 4.47. Calidad del agua al inicio del funcionamiento del filtro #5



Grafica 4.48. Calidad del agua al inicio del funcionamiento del filtro #6

Cuadro 4.18  
 Turbiedad de agua filtrada en Agosto y Septiembre de 1,996  
 Filtro No.1

0.20	0.45	0.70	1.00	1.60	2.60	4.40
0.20	0.45	0.70	1.00	1.60	2.60	4.50
0.20	0.50	0.70	1.00	1.60	2.60	4.50
0.21	0.50	0.70	1.00	1.60	2.60	4.50
0.21	0.50	0.70	1.00	1.80	2.80	4.80
0.21	0.50	0.70	1.10	1.80	3.00	4.80
0.23	0.50	0.70	1.10	1.80	3.00	5.00
0.28	0.50	0.70	1.10	1.80	3.10	5.00
0.30	0.50	0.80	1.10	1.80	3.20	5.10
0.30	0.50	0.80	1.10	1.80	3.20	5.10
0.30	0.50	0.80	1.20	1.90	3.40	5.20
0.32	0.50	0.80	1.20	1.90	3.50	5.20
0.35	0.60	0.85	1.30	1.90	3.70	5.30
0.35	0.60	1.00	1.30	1.90	3.80	5.30
0.36	0.60	1.00	1.30	2.00	3.80	5.40
0.36	0.60	1.00	1.40	2.00	3.80	6.00
0.39	0.60	1.00	1.40	2.00	3.80	6.50
0.40	0.60	1.00	1.50	2.00	4.00	7.40
0.40	0.60	1.00	1.50	2.00	4.10	7.50
0.40	0.60	1.00	1.50	2.30	4.20	7.70
0.40	0.60	1.00	1.50	2.40	4.20	7.90
0.40	0.60	1.00	1.50	2.40	4.20	7.90
0.40	0.60	1.00	1.60	2.50	4.30	8.20
0.40	0.60	1.00	1.60	2.50	4.30	8.60
0.43	0.63	1.00	1.60	2.50	4.30	9.10

Cuadro 4.19  
 Turbiedad de agua filtrada en Agosto y Septiembre de 1,996  
 Filtro No.2

0.20	0.50	1.00	1.60	2.00	2.90	4.50
0.20	0.50	1.00	1.60	2.00	3.10	4.80
0.30	0.50	1.00	1.60	2.00	3.10	4.80
0.30	0.50	1.00	1.60	2.00	3.20	4.80
0.30	0.50	1.00	1.60	2.00	3.20	4.90
0.30	0.50	1.00	1.70	2.00	3.30	4.90
0.30	0.50	1.00	1.70	2.00	3.30	5.00
0.30	0.50	1.00	1.70	2.10	3.40	5.00
0.40	0.50	1.00	1.70	2.10	3.50	5.10
0.40	0.50	1.10	1.80	2.20	3.50	5.10
0.40	0.60	1.10	1.80	2.20	3.50	5.10
0.40	0.60	1.10	1.80	2.20	3.60	5.10
0.40	0.60	1.20	1.80	2.20	3.70	5.20
0.40	0.60	1.20	1.80	2.30	3.80	5.20
0.40	0.60	1.20	1.80	2.30	3.80	5.30
0.40	0.70	1.20	1.80	2.30	3.80	5.40
0.40	0.70	1.20	1.80	2.50	4.00	5.40
0.40	0.70	1.20	1.80	2.50	4.00	5.60
0.40	0.70	1.30	1.80	2.50	4.20	6.90
0.40	0.80	1.40	1.80	2.50	4.20	6.90
0.40	0.90	1.40	1.90	2.60	4.20	7.10
0.40	0.90	1.50	1.90	2.80	4.30	7.90
0.40	1.00	1.50	1.90	2.80	4.30	8.00
0.40	1.00	1.50	2.00	2.80	4.50	8.10
0.50	1.00	1.60	2.00	2.90	4.50	8.20

Cuadro 4.20  
 Turbiedad de agua filtrada en Agosto y Septiembre de 1,996  
 Filtro No.3

0.30	0.70	1.40	1.80	2.10	2.80	5.20
0.30	0.73	1.40	1.80	2.10	3.00	5.40
0.33	0.73	1.40	1.80	2.10	3.10	5.60
0.33	0.75	1.40	1.80	2.10	3.10	5.70
0.34	0.76	1.50	1.90	2.10	3.20	5.80
0.34	0.80	1.50	1.90	2.20	3.20	5.80
0.36	0.80	1.50	1.90	2.20	3.50	5.90
0.40	0.90	1.50	1.90	2.30	3.50	5.90
0.40	0.91	1.50	1.90	2.30	3.50	6.00
0.45	0.92	1.50	1.90	2.30	3.50	6.00
0.50	0.94	1.60	1.90	2.30	4.00	6.00
0.50	1.00	1.60	2.00	2.30	4.00	6.00
0.50	1.00	1.60	2.00	2.30	4.30	6.00
0.50	1.00	1.70	2.00	2.40	4.50	6.10
0.50	1.00	1.70	2.00	2.40	4.50	6.20
0.51	1.00	1.70	2.00	2.40	4.50	6.50
0.52	1.10	1.70	2.00	2.40	4.50	6.90
0.57	1.10	1.70	2.00	2.40	4.50	6.90
0.60	1.20	1.70	2.00	2.40	4.80	7.00
0.60	1.20	1.70	2.00	2.40	4.90	7.10
0.60	1.30	1.80	2.00	2.50	4.90	7.20
0.61	1.30	1.80	2.00	2.50	5.00	7.70
0.63	1.30	1.80	2.00	2.60	5.10	7.90
0.70	1.40	1.80	2.00	2.70	5.10	8.10
0.70	1.40	1.80	2.10	2.80	5.10	8.20



Cuadro 4.21  
 Turbiedad de agua filtrada en Agosto y Septiembre de 1,996  
 Filtro No.4

0.33	1.50	2.00	2.50	3.40	4.10	5.20
0.50	1.50	2.00	2.50	3.40	4.10	5.30
0.50	1.50	2.00	2.50	3.40	4.20	5.50
0.52	1.60	2.00	2.50	3.40	4.20	5.50
1.00	1.60	2.00	2.50	3.40	4.20	5.80
1.00	1.60	2.00	2.60	3.50	4.20	5.80
1.00	1.60	2.00	2.70	3.50	4.20	5.80
1.00	1.60	2.00	2.80	3.50	4.20	5.90
1.20	1.70	2.00	2.80	3.50	4.20	6.00
1.20	1.70	2.00	2.80	3.70	4.20	6.00
1.20	1.70	2.10	2.80	3.70	4.40	6.00
1.30	1.70	2.10	2.80	3.70	4.50	6.00
1.30	1.80	2.10	2.90	3.80	4.50	6.00
1.40	1.80	2.10	2.90	3.80	4.80	6.10
1.40	1.80	2.10	3.00	3.90	4.80	6.10
1.40	1.80	2.10	3.00	3.90	4.80	6.30
1.40	1.80	2.10	3.00	3.90	4.80	6.40
1.50	1.80	2.20	3.00	4.00	4.80	6.50
1.50	1.80	2.30	3.00	4.00	5.00	6.50
1.50	1.80	2.30	3.10	4.00	5.00	6.80
1.50	1.90	2.30	3.20	4.00	5.00	7.00
1.50	1.90	2.30	3.20	4.00	5.00	7.20
1.50	1.90	2.40	3.20	4.00	5.00	7.20
1.50	1.90	2.40	3.30	4.00	5.00	8.10
1.50	2.00	2.40	3.30	4.00	5.00	8.50

Cuadro 4.22  
 Turbiedad de agua filtrada en Agosto y Septiembre de 1,996  
 Filtro No.5

0.39	1.10	1.80	2.20	3.00	3.70	5.50
0.48	1.20	1.80	2.30	3.00	3.70	5.80
0.50	1.20	1.90	2.30	3.00	3.80	6.00
0.57	1.30	1.90	2.40	3.10	3.90	6.00
0.59	1.30	1.90	2.40	3.10	4.00	6.10
0.62	1.40	1.90	2.50	3.10	4.00	6.50
0.62	1.50	2.00	2.50	3.10	4.00	6.60
0.65	1.50	2.00	2.50	3.20	4.00	6.80
0.66	1.50	2.00	2.50	3.20	4.10	6.80
0.66	1.50	2.00	2.50	3.20	4.10	6.90
0.68	1.50	2.00	2.60	3.20	4.10	7.00
0.68	1.50	2.00	2.60	3.20	4.30	7.10
0.70	1.50	2.00	2.60	3.20	4.30	7.10
0.76	1.50	2.10	2.60	3.20	4.40	7.20
0.76	1.60	2.10	2.70	3.30	4.50	7.60
0.78	1.60	2.10	2.70	3.40	4.50	7.70
0.80	1.60	2.10	2.70	3.40	4.90	7.80
0.81	1.70	2.10	2.80	3.40	4.90	7.80
0.90	1.70	2.10	2.80	3.40	5.00	7.90
0.92	1.70	2.10	2.90	3.50	5.10	8.00
0.97	1.70	2.20	2.90	3.50	5.10	8.00
1.00	1.80	2.20	3.00	3.60	5.10	8.10
1.00	1.80	2.20	3.00	3.60	5.20	8.20
1.10	1.80	2.20	3.00	3.60	5.20	8.20
1.10	1.80	2.20	3.00	3.70	5.50	9.10

Cuadro 4.23  
 Turbiedad de agua filtrada en Agosto y Septiembre de 1,996  
 Filtro No.6

0.28	1.60	2.30	3.50	4.10	4.80	6.10
0.29	1.60	2.30	3.50	4.10	4.90	6.10
0.35	1.70	2.30	3.50	4.10	4.90	6.20
0.35	1.70	2.40	3.60	4.20	5.00	6.50
0.38	1.80	2.40	3.60	4.20	5.00	6.80
0.40	1.80	2.40	3.70	4.20	5.10	6.90
0.41	1.90	2.40	3.80	4.20	5.10	7.00
0.55	1.90	2.40	3.80	4.20	5.10	7.10
0.59	1.90	2.50	3.80	4.20	5.10	7.10
0.60	1.90	2.50	3.80	4.20	5.10	7.20
0.60	1.90	2.50	3.80	4.20	5.20	7.20
0.60	1.90	2.50	3.80	4.20	5.20	7.70
0.70	2.00	2.50	3.90	4.30	5.30	7.70
0.70	2.00	2.60	3.90	4.30	5.30	7.70
0.80	2.00	2.60	3.90	4.30	5.30	7.80
1.00	2.00	2.70	4.00	4.40	5.40	7.80
1.10	2.00	2.80	4.00	4.40	5.50	7.80
1.10	2.10	3.10	4.00	4.40	5.60	7.90
1.50	2.10	3.10	4.00	4.50	5.60	8.00
1.50	2.10	3.10	4.00	4.50	5.60	8.00
1.50	2.10	3.10	4.00	4.50	5.70	8.10
1.60	2.20	3.20	4.00	4.50	5.70	8.20
1.60	2.20	3.20	4.00	4.80	5.80	8.20
1.60	2.20	3.20	4.10	4.80	5.80	8.20
1.60	2.20	3.50	4.10	4.80	6.00	8.20

Cuadro 4.24  
Para El Filtro No.1  
Frecuencia de Turbiedades Agua Filtrada

Inferior	Superior	f	f%	fa%
0	0.99	63	36.00%	36.00%
1	1.99	51	29.14%	65.14%
2	2.99	16	9.14%	74.29%
3	3.99	12	6.86%	81.14%
4	4.99	14	8.00%	89.14%
5	5.99	9	5.14%	94.29%
6	6.99	2	1.14%	95.43%
7	7.99	5	2.86%	98.29%
8	8.99	2	1.14%	99.43%
9	9.99	1	0.57%	100.00%
10	10.99	0	0.00%	100.00%
		175		

Cuadro 4.25  
Para El Filtro No.2  
Frecuencia de Turbiedades Agua Filtrada

Inferior	Superior	f	f%	fa%
0	0.99	47	26.86%	26.86%
1	1.99	51	29.14%	56.00%
2	2.99	28	16.00%	72.00%
3	3.99	15	8.57%	80.57%
4	4.99	15	8.57%	89.14%
5	5.99	12	6.86%	96.00%
6	6.99	2	1.14%	97.14%
7	7.99	2	1.14%	98.29%
8	8.99	3	1.71%	100.00%
9	9.99	0	0.00%	100.00%
10	10.99	0	0.00%	100.00%
		175		

Cuadro 4.26  
Para El Filtro No.3  
Frecuencia de Turbiedades Agua Filtrada

Inferior	Superior	f	f%	fa%
0	0.99	36	20.57%	20.57%
1	1.99	50	28.57%	49.14%
2	2.99	40	22.86%	72.00%
3	3.99	9	5.14%	77.14%
4	4.99	11	6.29%	83.43%
5	5.99	12	6.86%	90.29%
6	6.99	10	5.71%	96.00%
7	7.99	5	2.86%	98.86%
8	8.99	2	1.14%	100.00%
9	9.99	0	0.00%	100.00%
10	10.99	0	0.00%	100.00%
		175		

Cuadro 4.27  
Para El Filtro No.4  
Frecuencia de Turbiedades Agua Filtrada

Inferior	Superior	f	f%	fa%
0	0.99	4	2.29%	2.29%
1	1.99	45	25.71%	28.00%
2	2.99	40	22.86%	50.86%
3	3.99	28	16.00%	66.86%
4	4.99	26	14.86%	81.71%
5	5.99	15	8.57%	90.29%
6	6.99	12	6.86%	97.14%
7	7.99	3	1.71%	98.86%
8	8.99	2	1.14%	100.00%
9	9.99	0	0.00%	100.00%
10	10.99	0	0.00%	100.00%
		175		

Cuadro 4.28  
Para El Filtro No.5  
Frecuencia de Turbiedades Agua Filtrada

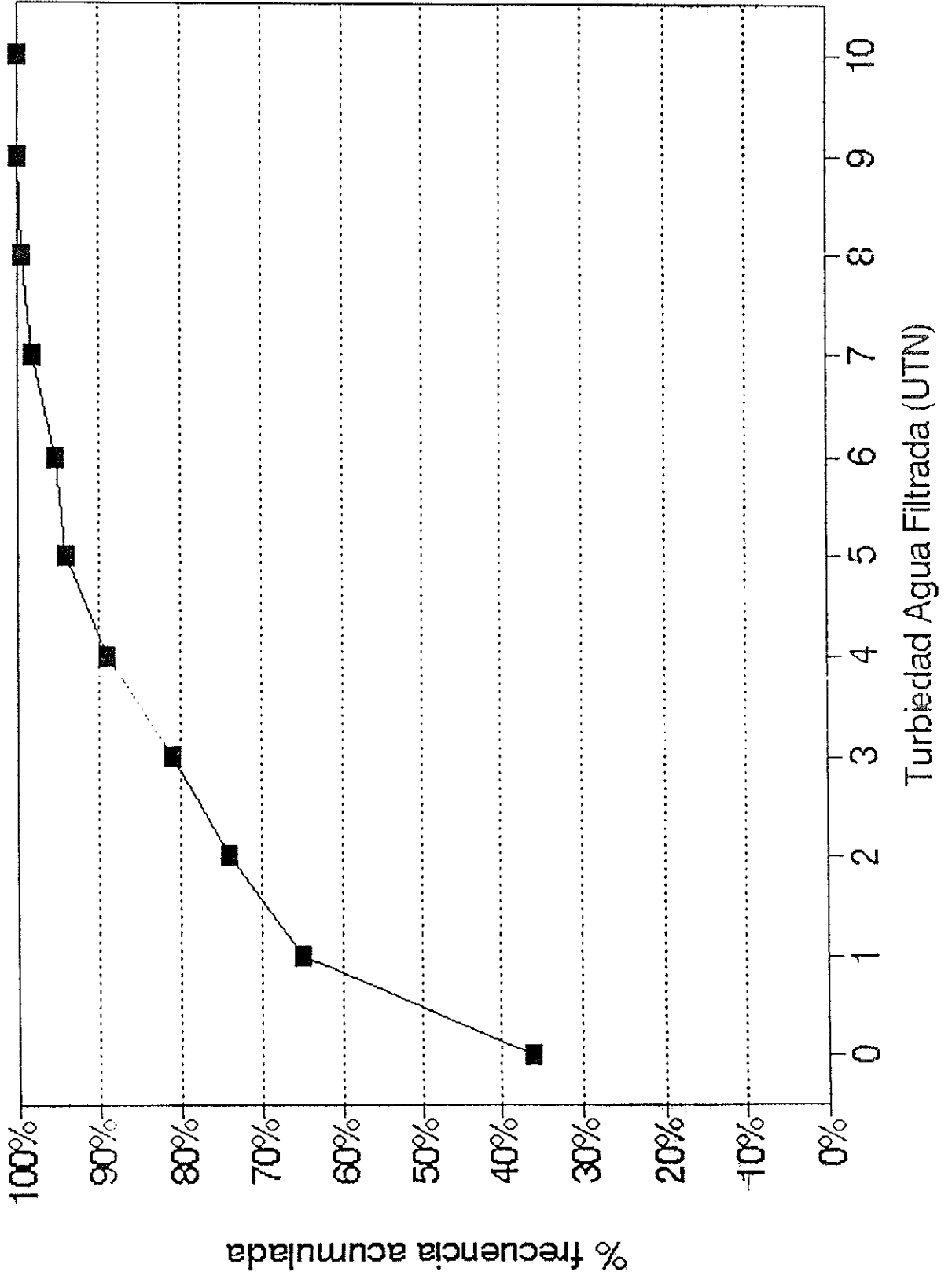
Inferior	Superior	f	f%	fa%
0	0.99	21	12.00%	12.00%
1	1.99	35	20.00%	32.00%
2	2.99	40	22.86%	54.86%
3	3.99	33	18.86%	73.71%
4	4.99	14	8.00%	81.71%
5	5.99	9	5.14%	86.86%
6	6.99	8	4.57%	91.43%
7	7.99	9	5.14%	96.57%
8	8.99	5	2.86%	99.43%
9	9.99	1	0.57%	100.00%
10	10.99	0	0.00%	100.00%
		175		

Cuadro 4.29  
Para El Filtro No.6  
Frecuencia de Turbiedades Agua Filtrada

Inferior	Superior	f	f%	fa%
0	0.99	15	8.57%	8.57%
1	1.99	22	12.57%	21.14%
2	2.99	30	17.14%	38.29%
3	3.99	23	13.14%	51.43%
4	4.99	38	21.71%	73.14%
5	5.99	21	12.00%	85.14%
6	6.99	7	4.00%	89.14%
7	7.99	12	6.86%	96.00%
8	8.99	7	4.00%	100.00%
9	9.99	0	0.00%	100.00%
10	10.99	0	0.00%	100.00%
		175		

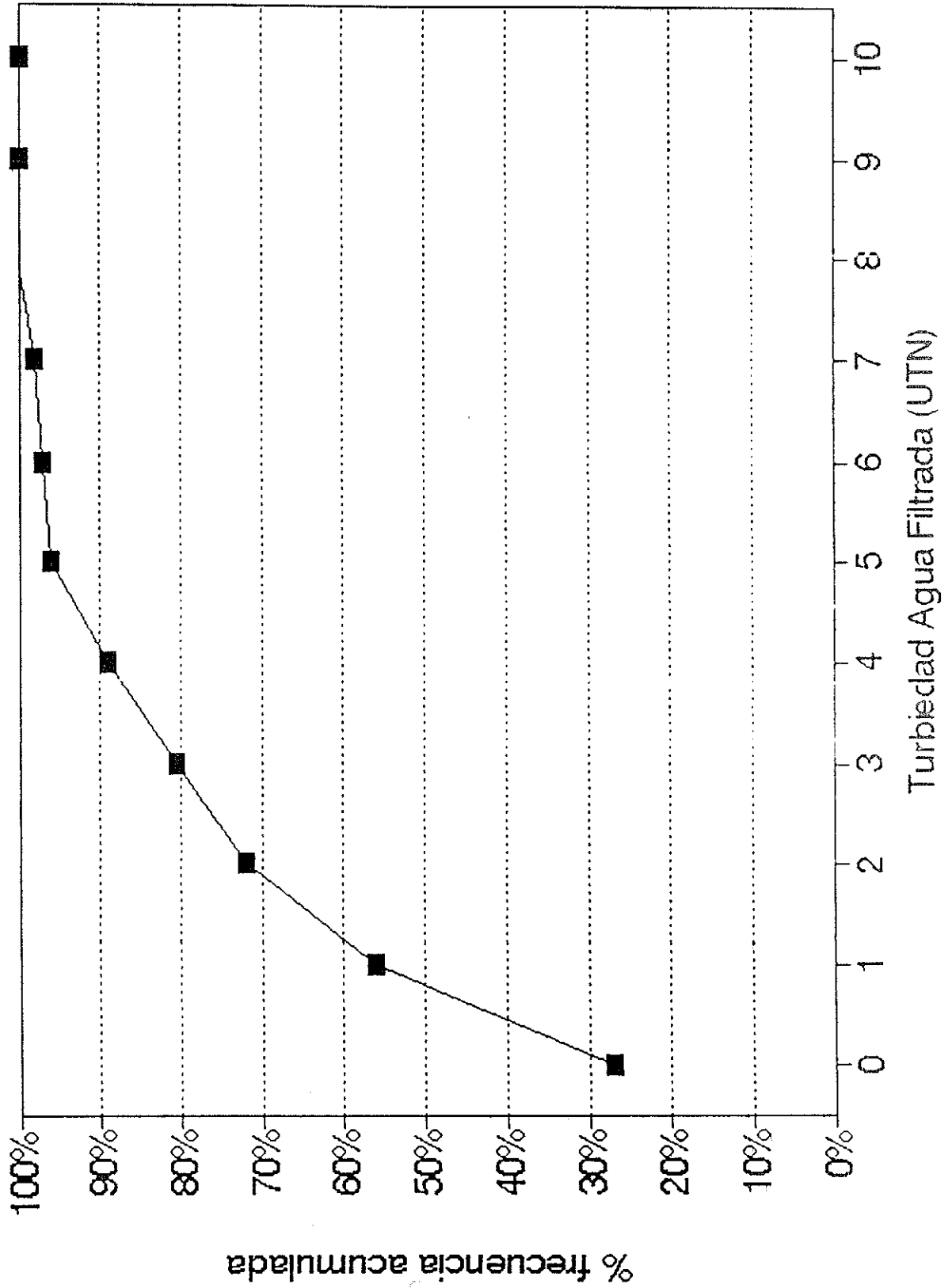
# Gráfica No.4.49

## Curva de Frecuencias de Turbiedad



# Gráfica No.4.50

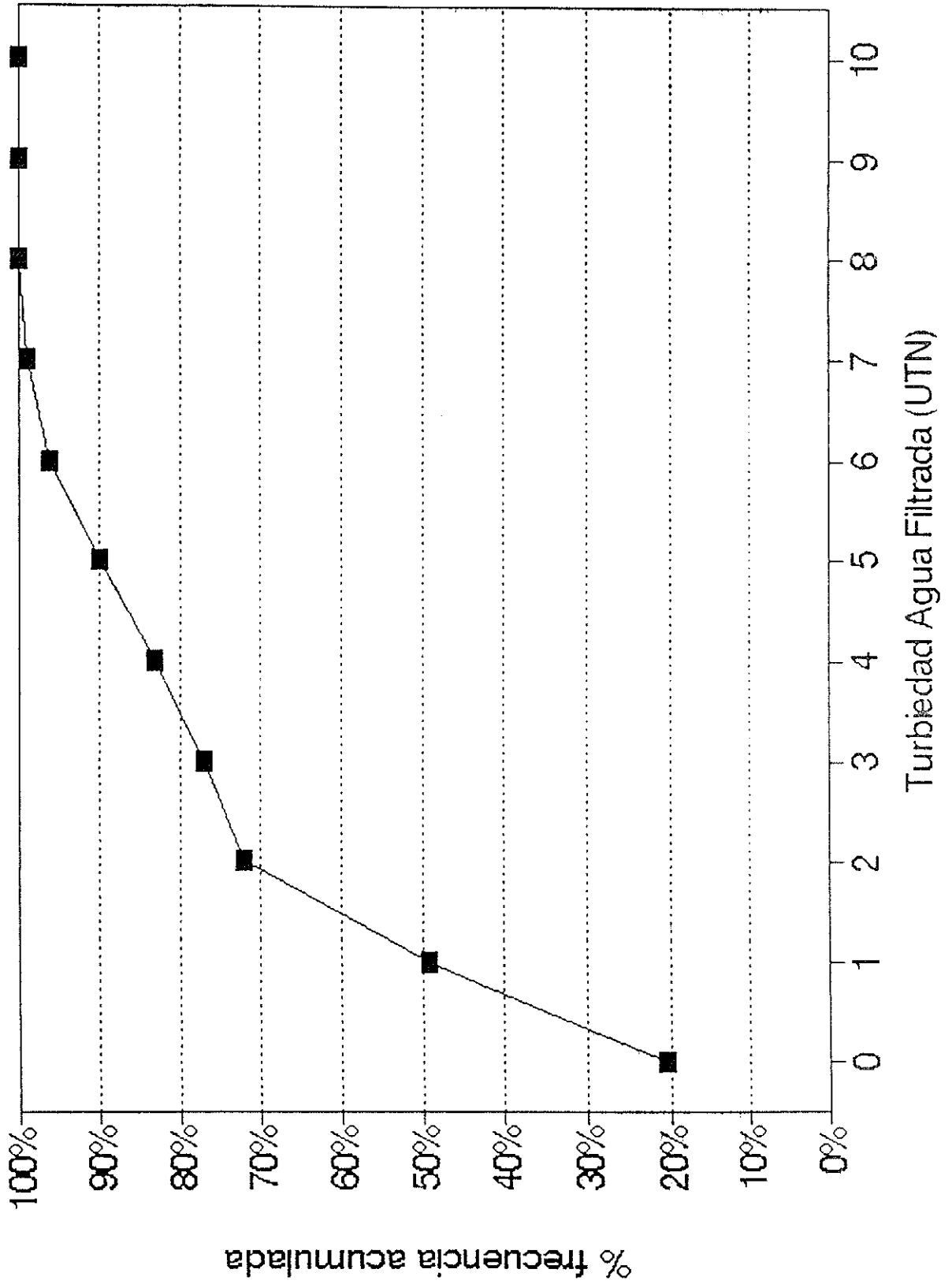
## Curva de Frecuencias de Turbiedad





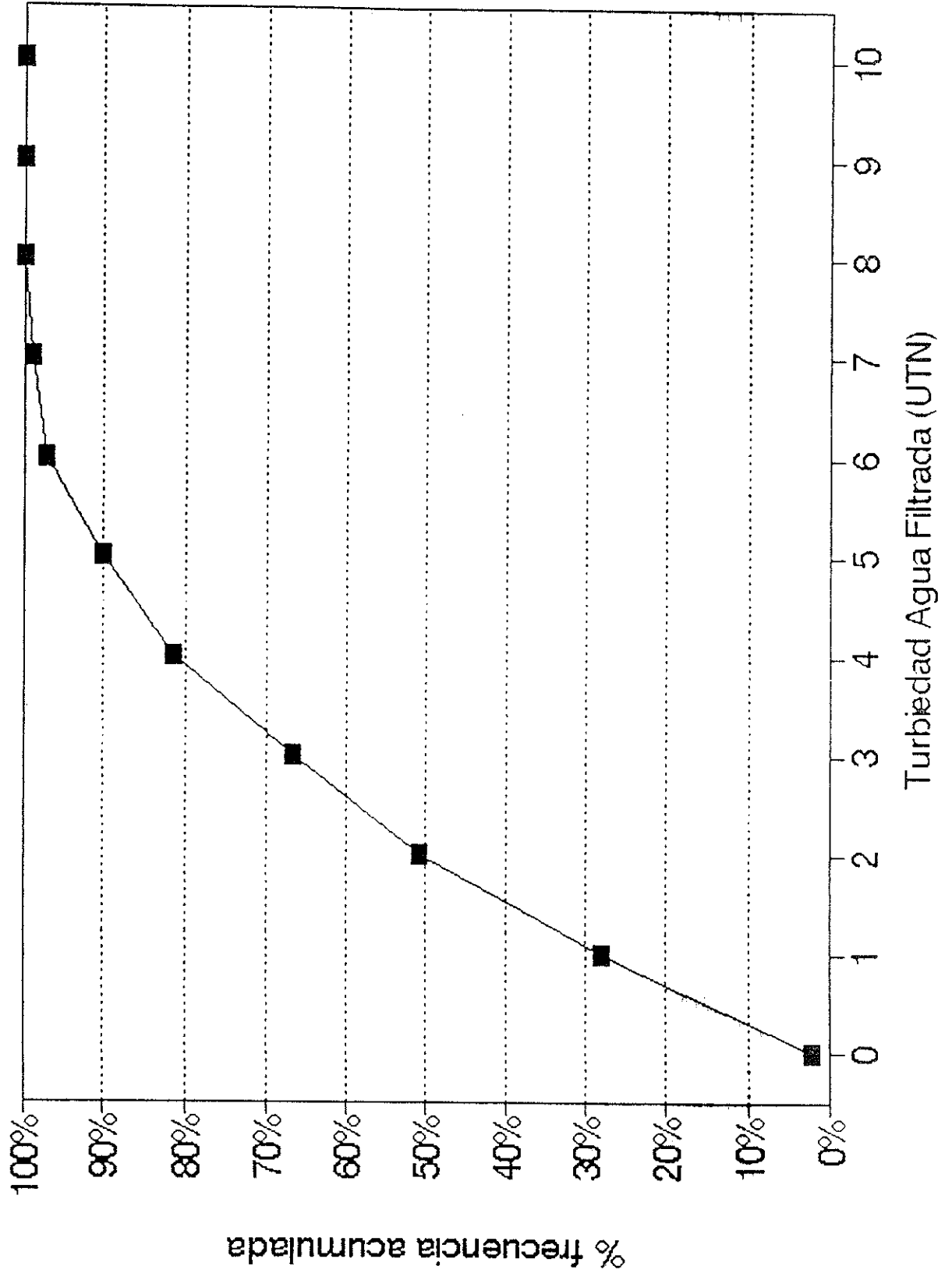
# Gráfica No.4.51

## Curva de Frecuencias de Turbiedad



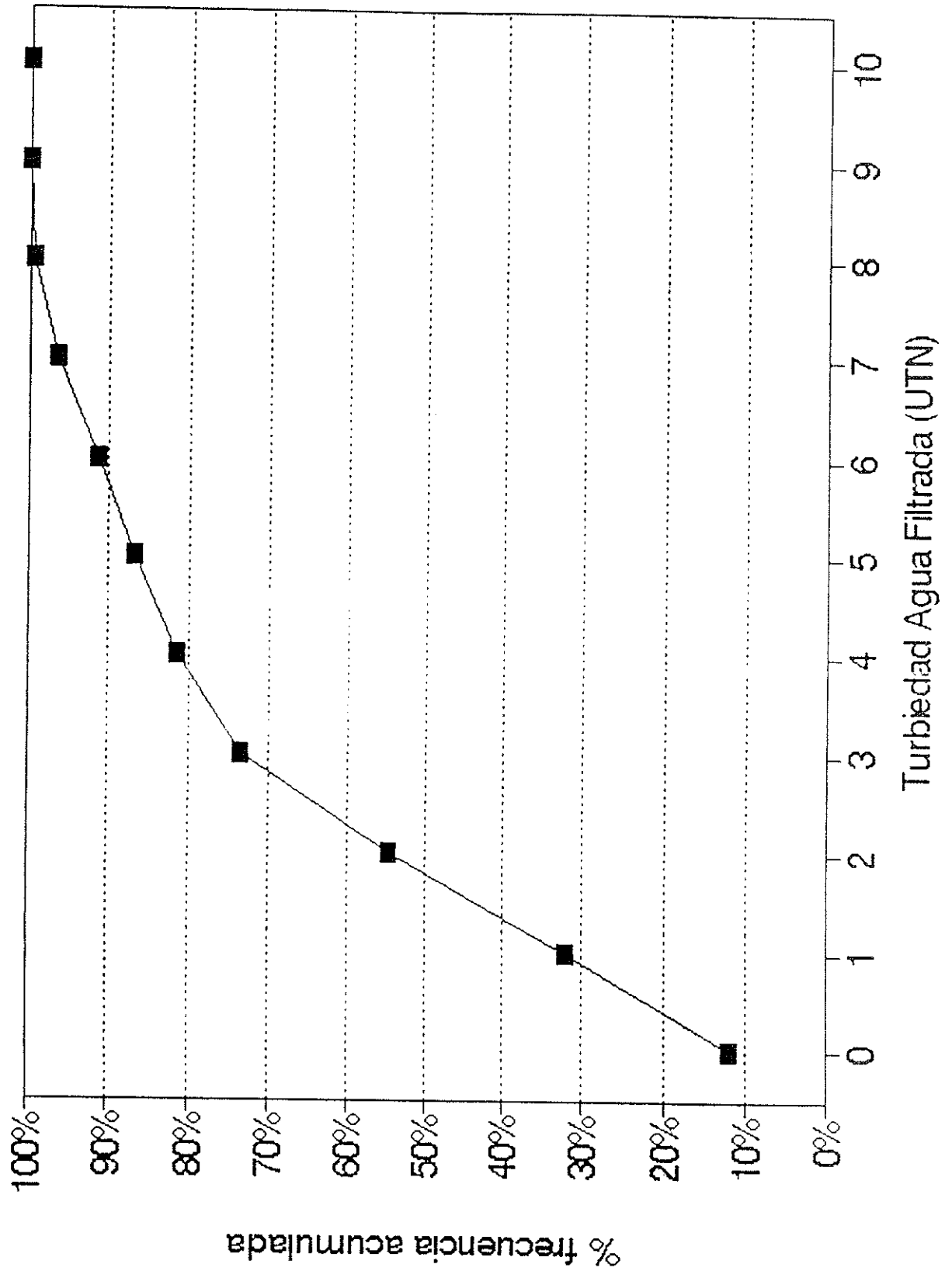
# Gráfica No.4.52

## Curva de Frecuencias de Turbiedad



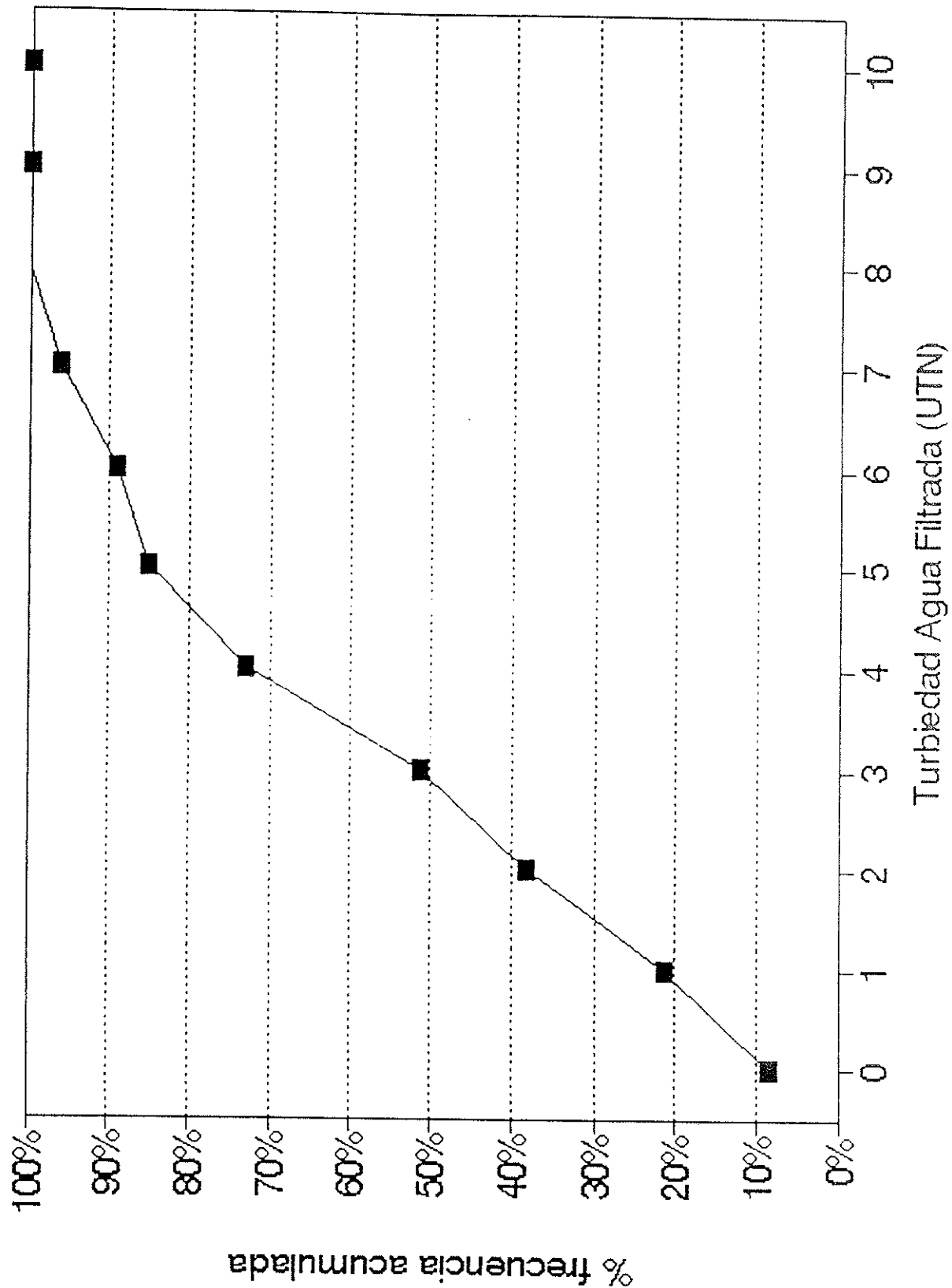
# Gráfica No.4.53

## Curva de Frecuencias de Turbiedad



# Gráfica No.4.54

## Curva de Frecuencias de Turbiedad



#### 4.1.4.2 Remoción Bacteriológica

Se realizaron 6 muestreos consecutivos en el mes de julio de 1996, en la salida de agua sedimentada y en la salida de cada uno los filtros, con la limitante de que el filtro número 3, no se pudo evaluar por estar en mantenimiento.

Los resultados obtenidos del análisis bacteriológico de las muestras se presentan en el cuadro 4.30, en el cual aparecen los porcentajes de remoción o incremento de bacterias del agua filtrada, además en el cuadro 4.31 aparecen los promedios de remoción de cada filtro.

**Cuadro 4.30**

#### EXAMEN BACTERIOLOGICO DEL AGUA

MUESTREO No 1				FECHA 29-07-96
INFORME No.	LUGAR DE TOMA	HORA	COLIFORME TOTAL (NMP/ cm <sup>3</sup> )	PORCENTAJE DE REMOCION O INCREMENTO
A-133157	Salida de los sedimentadores	10:00 am	2,400	
A-133153	Filtro numero 1	10:00 am	24,000	* 900 %
A-133154	Filtro numero 2	10:00 am	24,000	* 900 %
A-133155	Filtro numero 4	10:00 am	430	82 %
A-133156	Filtro numero 5	10:00 am	230	90 %

MUESTREO No.2				FECHA 29-07-96
A-133158	Salida de los sedimentadores	11:00 am	11,000	
A-13 3159	Filtro numero 1	11:00 am	11,000	0 %
A-13 3160	Filtro numero 2	11:00 am	2,400	78 %
A-133161	Filtro numero 4	11:00 am	930	91 %
A-133162	Filtro numero 5	11:00 am	430	96 %
A-133163	Filtro numero 6	11:00 am	430	96 %
MUESTREO No 3				30-07-96
A-133375	Salida de los sedimentadores	8:00 am	750	
A-133376	Filtro numero 1	8:00 am	150	80 %
A-133377	Filtro numero 2	8:00 am	150	80 %
A-133378	Filtro numero 4	8:00 am	230	69 %
A-133379	Filtro numero 5	8:00 am	150	80 %
MUESTREO No.4				30-07-96
A-133380	Salida de los sedimentadores	10:00 am	430	
A-133381	Filtro numero 1	11:00 am	230	46 %
A-133382	Filtro numero 2	11:00 am	40	90 %
A-133383	Filtro numero 4	11:00 am	40	90 %
A-133384	Filtro numero 5	11:00 am	2,400	* 458 %
A-133385	Filtro numero 6	11:00 am	430	0 %

MUESTREO No.5				31-07-96
A-133386	Salida de los sedimentadores	10:00	430	
A-133387	Filtro numero 1	10:00	430	0 %
A-133388	Filtro numero 2	10:00	1,500	* 249 %
A-133389	Filtro numero 4	13:54	3	99 %
A-133390	Filtro numero 5	10:00	750	74 %
A-133391	Filtro numero 6	10:00	24,000	* 5480 %
MUESTREO No 6				31-07-96
A-133392	Salida de los sedimentadores	13:58	430	
A-133393	Filtro numero 1	13:58	90	79 %
A-133394	Filtro numero 2	16:00	40	90 %
A-133395	Filtro numero 5	13:58	3	99 %
A-133396	Filtro numero 6	16:00	70	83 %

**Cuadro 4.31**  
**Porcentaje de Remoción Bacteriológica**  
**Promedio para cada Filtro**

	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 4	Filtro 5	Filtro 6
% PROMEDIO DE REMOCION	68 %	84 %	86 %	91 %	89 %

\* En estas muestras el resultado del análisis bacteriológico dió como resultado un incremento del agua filtrada respecto al agua sedimentada (ver numeral 4.2.4 interpretación de resultados).

## 4.2 Interpretación de los Resultados

### 4.2.1 Características del Lecho Filtrante

Las características del medio filtrante que mayor influencia tienen en la eficiencia de los filtros son la granulometría y los espesores de las capas que lo forman.

Al observar los resultados (cuadro 4.6), el espesor de las capas que componen el medio filtrante es diferente en cada uno de los filtros y en todos los casos es inferior a los espesores instalados originalmente, 0.25 m para la arena y 0.50 m para la antracita. Los coeficientes de uniformidad y los diámetros efectivos de los materiales filtrantes son diferentes en cada filtro y totalmente distintos a los parámetros de diseño de la planta, como se muestra en los cuadros número 4.3 y cuadro número 4.4. Esta diferencia de materiales causa problemas en la operación sistematizada de los filtros, puesto que todas las unidades tienen la mismas estructuras y los mismos mecanismos de operación.

A la variación con el tiempo de las características del lecho filtrante también se le atribuye que los dos materiales que lo componen se encuentran excesivamente mezclados, como se pudo observar al extraer las muestras para el análisis granulométrico. La consecuencia de la intermezcla de los dos materiales es que se incrementa la pérdida de carga y se acortan las carreras de filtración. Esto implica que los filtros se tengan que estar lavando con más frecuencia de la debida, y esto está influyendo en la optimización del recurso agua dentro de la planta.

En lo que respecta a granulometría, el filtro No. 2 es el que presenta resultados más críticos, se recomienda cambiar totalmente el material filtrante de esta unidad. En las demás unidades el material que deberá cambiarse es la **arena**, puesto que según los resultados, es demasiado fina para la antracita instalada actualmente, se recomienda que la **arena** tenga un tamaño efectivo ( $d_{10}$ ) de 0.65 mm y un espesor de capa de 0.25 m, además se deberá **restituir la antracita pérdida** con un tamaño grueso ( $d_{90}$ ) de 2 mm, un tamaño efectivo de 1.1 mm y un espesor de capa de 0.50 m. Con estas características se obtiene un grado de intermezcla cercano a 3, que es lo recomendado para medios filtrantes dobles de arena y antracita.

Otro de los ensayos que se realizó en el lecho filtrante fue el de bolas de lodo, cuyos resultados muestran que no existen tales impurezas en el material filtrante (ver cuadro número 4.7 porcentaje de bolas de lodo), lo cual implica que se ha conservado libre de materias extrañas a él, que pudieran estar afectando su capacidad de filtración.

### 4.2.2 Características del Proceso de Lavado

#### -Velocidad y Caudal de Lavado

El rango de velocidades de lavado recomendable, se encuentra entre 0.60 m/min y 0.80 m/min, pudiéndose estimar que la velocidad adecuada en m/min es igual al diámetro efectivo de la arena en milímetros.



La velocidad de lavado recomendada por el manual de operación de la planta Lo de Coy es de 0.58 m/min, que según el modelo estudiado por los autores del manual corresponde a 763 l/s.

La operación de lavado de los filtros en la planta Lo de Coy, se realiza con el caudal con que ésta operando la planta en ese momento, esta situación no varió durante los ensayos, cuyos resultados se presentan en el cuadro 4.8, en el cual se puede observar que la velocidad de lavado que se encuentra en el rango recomendado es de 0.69 m/min y se presentó con un caudal de operación de 898 l/s, con caudales mayores la velocidad de lavado sobrepasa el valor máximo recomendado (80 m/min), llegando hasta 1.11 m/min, que corresponde a un caudal de operación de 1445 l/s, la operación de lavado realizado con velocidades arriba del rango recomendado, explica la pérdida de material filtrante manifestada por todas las unidades de filtración, se recomienda adoptar un rango de velocidades entre 0.58m/min. (763 l/s recomendado como mínimo en el manual de operación de la planta) y 0.69m/min (898 l/s que fue el caudal que mejores resultados produjo durante los ensayos).

### Expansión del Lecho Filtrante

Según la velocidad con la cual se inyecte el agua de lavado y la granulometría del material filtrante, todas las capas que forman el lecho filtrante tenderán a expandirse.

En filtros de diseño americano, con arena con diámetro efectivo entre 0.45mm. a 0.55mm. y antracita con diámetro efectivo entre 0.80 mm. a 1.10 mm., la expansión es del orden del 20% al 50%.

Como se mencionó en la descripción de los filtros de la planta Lo de Coy, existen dos sistemas que se complementan para lavar las unidades de filtración, sin embargo en uno de los sistemas, en el sistema de lavado superficial, se observó que no funcionan todos sus elementos, además de que no existe un criterio uniforme respecto al tiempo de funcionamiento de este sistema durante la operación de lavado, esta situación está causando **desigualdad en la expansión del lecho filtrante**. Se recomienda rehabilitar el sistema de lavado superficial y posteriormente evaluar el tiempo de funcionamiento de dicho sistema, durante la operación de lavado.

Otra situación que está causando la desigualdad en la expansión, es que el caudal de retrolavado se ha concentrado en una válvula de 36" de diámetro y que está situada en un extremo de la caja de los filtros (ver gráfica 2.1 Planta General de Filtros y gráfica 2.3 Isométrica de Filtros), en este tipo de unidades el agua de lavado debería ingresar por toda la sección del fondo falso para evitar el inconveniente de la desigualdad de la expansión, ver cuadro 4.9 Expansiones Máximas, Expansiones Medias y Mínimas, además gráficas No. de 4.13 a 4.18, que muestran diferentes puntos donde se midieron expansiones para cada filtro, en las gráficas mencionadas se puede observar que el porcentaje mínimo de expansión se encuentra entre 7% y 11%, este rango de expansión se considera insuficiente para el lavado del material, los porcentajes mínimos se midieron en áreas donde el sistema de lavado superficial no funciona o en puntos con posición desfavorable respecto al ingreso de agua de retrolavado, esta situación se puede corregir, rehabilitando el sistema de lavado superficial y evaluando la alternativa de que el agua de retrolavado ingrese simultáneamente, por la válvula de retolavado y por la válvula del efluente del filtro, así se tendrán por lo menos dos puntos de inyección de agua de retrolavado.

El porcentaje de expansión máximo se encuentra entre 167% y 246%, estos valores están exageradamente arriba del valor máximo recomendado (50%), las velocidades de lavado utilizadas (0.91m/min a 1.11m/min que corresponden a caudales de operación de 1184 l/s a 1432 l/s respectivamente) están ocasionando la pérdida de antracita.

Por las razones anteriormente descritas, la expansión del material filtrante en ciertas áreas de los filtros es insuficiente, por lo tanto el material tiene un lavado ineficiente y en otras áreas la expansión es exagerada, ocasionando que se pierda material; para que el material filtrante logre una expansión que le permita lavarse bien y la antracita no se pierda, en el retrolavado de las unidades de filtración de la planta Lo de Coy se recomienda adoptar un rango de velocidades entre 0.58m/min. (763 l/s recomendado como mínimo en el manual de operación de la planta) y 0.69m/min (898 l/s que fue el caudal que mejores resultados produjo durante los ensayos).

#### -Duración del proceso de Lavado

Cuando se hace el lavado de un filtro, la turbiedad del agua de lavado aumenta rápidamente al principio, pudiendo llegar a valores superiores a 1000 UTN y luego, a medida que el material filtrante se va lavando, va disminuyendo hasta alcanzar cifras inferiores a 10 UTN, las cuales rara vez decrecen aunque se prolongue por largo tiempo el lavado. Se realizó el ensayo correspondiente de acuerdo al procedimiento descrito en el numeral 3.2.3, los resultados se pueden observar en las gráficas 4.19 a 4.24, al estudiar la tendencia de estas curvas se pudo determinar que el **tiempo optimó de lavado es de 12 minutos**, se determinó este tiempo puesto que al prolongar la operación no se observa una reducción considerable en la turbiedad de agua de lavado y por lo tanto se estaría desperdiciando agua de servicio.

#### - Perfil de Lecho de Grava

Generalmente debido a las operaciones de lavado de los filtros, existe desacomodo en la grava que sirve de soporte al material filtrante, sin embargo los desniveles de la superficie de la grava deben ser inferiores a 5 cm.

En los filtros de la planta LO de COY se realizó el ensayo descrito en el numeral 3.2.4, obteniéndose las gráficas 4.25 a 4.30, al examinar las curvas de nivel se observa que el desnivel máximo obtenido es de 7 cm. y lo presenta el filtro número 1, los desniveles de grava en los demás filtros son inferiores y están dentro del rango aceptable, se puede deducir que no existen desniveles considerables en el lecho de grava, situación que se considera como normal en las unidades de filtración.

### 4.2.3 Características del Proceso de Filtración

#### - Velocidad y Caudal de Filtración

La evaluación de la velocidad de filtración en cada filtro se realizó con la unidad recién lavada, por lo que en ese momento cada unidad tenía su máxima capacidad de filtración. La velocidad de filtración obtenida durante la ensayos está relacionada con el caudal que en ese momento se

estaba tratando en la planta, se observó que cuando el caudal tratado sobrepasa los 1,300 l/s ( este dato de caudal se corrobora con el caudal máximo de diseño de la planta 1248 l/s), la velocidad de filtración de cada unidad (ver cuadro No. 4.11 velocidades de filtración), supera el valor recomendado por el manual de operación que es de  $293 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$ , esta situación repercute en la calidad del efluente de los filtros, puesto que a mayor velocidad existe mayor arrastre de partículas que no podrán ser retenidas o bien que estando retenidas por el material filtrante se desprenden y son arrastradas hacia la salida de agua filtrada, los resultados obtenidos implicarían la restricción del caudal de tratamiento a su capacidad máxima de diseño (1248 l/s), sin embargo EMPAGUA no está en condiciones de restringir su producción, por lo que se recomienda que los técnicos encargados de la operación de la planta Lo de Coy, realicen un estudio para operar la planta, cuando el caudal de tratamiento supere el caudal máximo de diseño.

#### - Pérdida de Carga

Respecto a la medición de pérdida de carga, los dispositivos que fueron instalados originalmente en la planta Lo de COY con este propósito, no funcionan, por lo que hubo necesidad de instalar piezómetros para realizar los ensayos, los resultados obtenidos en la evaluación de los seis filtros de la planta Lo de Coy se presentan en el cuadro 4.12 (Evolución de la Pérdida de carga), estos datos dieron origen a las gráficas 4.31 a 4.36, al examinar las gráficas se observa que en todos los casos, las curvas de pérdida de carga a lo largo de la carrera de filtración, manifiestan una curvatura hacia arriba muy pronunciada, lo que indica una penetración limitada de la materia coagulada dentro del medio filtrante, con lo que se puede decir que el mismo se encuentra en buenas condiciones en lo que a limpieza se refiere, esta situación se corrobora en el ensayo de bolas de lodo, el cual dio como resultado que no existen impurezas permanentes en el medio filtrante, sin embargo la granulometría del lecho filtrante, esta afectando la evolución de la pérdida de carga, para solucionar esta situación se dan recomendaciones en el numeral 4.2.1.

#### - Fluctuaciones de Pérdida de Carga

Todo cambio brusco de flujo en un filtro produce un desprendimiento de partículas adheridas a los granos del material filtrante. Existe en consecuencia una relación entre el porcentaje de fluctuación de la pérdida de carga y la calidad del agua filtrada.

Las medidas del porcentaje de las fluctuaciones de pérdida de carga se presentan en los cuadros 4.13 a 4.15 y en las gráficas 4.37 a 4.42, como referencia en todas las gráficas se trazaron las pendientes ideales de las rectas sobre las cuales deberían estar ubicados los puntos de cada gráfica obtenida en el ensayo, al examinar las gráficas se puede observar que los puntos ploteados, en todos los casos están sobre una recta con tangente similar a la de 4%. Esto indica que existen cambios en los flujos de caudal hacia a los filtros que están afectando la calidad de agua del efluente ( ver cuadro 4.16) y por lo tanto se tendrá que realizar una evaluación independiente para determinar las causas que originan este tipo de problema y poder proceder a su corrección.

#### - Calidad del Agua de la Etapa Inicial de filtración

Al ser puesto un filtro en funcionamiento después del proceso de lavado, se obtiene por lo general un efluente con turbiedad más alta que durante el resto de la carrera, debido a que cierta proporción de las partículas que se desprendieron durante el proceso de lavado han quedado retenidas sobre el lecho y dentro de éste, saliendo al comenzar la operación. En general cuanto más descuidada sea la operación del filtro y más deteriorado se encuentre el lecho filtrante, peor será la calidad del efluente inicial producido por el filtro, por lo cual se justifica el conocer la calidad del agua del filtrado inicial.

Se realizó el ensayo correspondiente y se determinó el comportamiento de la calidad de agua al iniciar la filtración y posteriormente a la operación de lavado. Los datos obtenidos se presentan en el cuadro 4.17 y en las gráficas 4.43 a 4.48, al examinar los resultados se puede observar que la máxima turbiedad del agua producida al inicio del funcionamiento del filtro fue de 4 UTN, reduciéndose a 2.1 UTN, en un tiempo de 16 minutos. El valor máximo obtenido no sobrepasa el valor máximo aceptable indicado en la norma COGUANOR NGO 29001.

Cuando las turbiedades iniciales son muy altas se puede asumir que faltó tiempo de lavado, lo cual según la evaluación realizada no está sucediendo en los filtros de la planta Lo de Coy.

#### 4.2.4 Eficiencia del Proceso de Filtración

##### - Remoción de Turbiedad

Se realizó el ensayo descrito en el numeral 3.4.1.3, los datos obtenidos se agruparon en los cuadros 4.24 a 4.29, en donde se calculó la frecuencia acumulada de presentación de los mismos, posteriormente a esto se trazaron las curvas de frecuencia acumulada que aparecen en las gráficas 4.49 a 4.52, al examinar las gráficas se puede observar que en promedio el 90% del tiempo, la turbiedad del agua producida por los filtros y por lo tanto de la planta de tratamiento agua Lo de Coy, es menor de 5 UTN, que es el valor máximo aceptable según la norma COGUANOR NGO 29001, el 10% del tiempo restante, se está produciendo agua con turbiedad que tiene valores abajo del límite máximo permisible 25 UTN.

De los resultados obtenidos se puede deducir que el 90% del tiempo la planta tiene una excelente eficiencia y el resto del tiempo produce agua dentro de los rangos permisibles.

##### - Remoción Bacteriológica

Del análisis de los 6 muestreos realizados (ver cuadro 4.30), en todos los casos se obtuvo remoción en más de un filtro, en el muestreo número 4 y número 5, los filtros números 4 y 5 respectivamente, mostraron un porcentaje de remoción del 99%, estas unidades acababan de ser lavadas en el momento de tomar la muestra, el rango promedio de remoción bacteriológica es del orden de 68% a 91% en todas las unidades ( ver cuadro 4.31), por lo que se puede concluir que sí

existe remoción bacteriológica en los filtros de la Planta Lo De Coy, sin embargo se encuentra por debajo del porcentaje recomendado (99%).

Además se puede argumentar que la remoción bacteriológica de los filtros está afectada por los siguientes factores:

- Variación horaria de la calidad bacteriológica del agua cruda.
- Por descuido en la operación del lavado.
- No se tiene establecida la duración de la carrera de filtración para obtener una remoción óptima.

En las muestras en que se observó incremento en lugar de remoción de bacterias, se puede argumentar las siguientes razones:

- Que las muestras se contaminaron en el momento de obtenerlas.
- Que el filtro en el momento de obtener la muestra llevaba una carrera de filtración avanzada.
- Que el último lavado realizado en la unidad fue ineficiente.

## CONCLUSIONES

1. Al observar los resultados del ensayo de granulometría del lecho filtrante, el espesor de las capas que lo componen, es diferente en cada uno de los filtros y en todos los casos es inferior a los espesores instalados originalmente, 0.25 m para la arena y 0.50 m para la antracita. Los coeficientes de uniformidad y los diámetros efectivos de los materiales filtrantes son diferentes en cada filtro y totalmente distintos a los parámetros de diseño de la planta, la arena que se encontró es demasiado fina para la antracita instalada y rellena los poros de ésta, produciendo un tapón y una zona de intermezcla muy grande, esto produce un aumento en la pérdida de carga. Las características del medio filtrante deberían ser iguales, puesto que todas las unidades tienen la mismas estructuras y los mismos mecanismos de operación.
2. La operación de lavado de los filtros en la planta Lo de Coy, se realiza con el caudal con que está operando la planta en ese momento. Esto implica que en ciertas oportunidades el lavado de las unidades se esté realizando con velocidades fuera del rango recomendado 0.60m/min a 0.80m/min, lo que está causando la pérdida de material filtrante.
3. El sistema de lavado superficial que complementa el retrolavado no funciona eficientemente, además de que no se tiene un criterio uniforme respecto al tiempo de funcionamiento que este sistema debe tener durante la operación del lavado. Esta situación está causando desigualdad en la expansión del lecho filtrante.
4. Otra situación que está causando desigualdad en la expansión del lecho filtrante es que el caudal del retrolavado se ha concentrado en una válvula de 36 pulgadas de diámetro y que está situada en un extremo de la caja de los filtros. En este tipo de unidades el agua debería ingresar por todo el fondo falso para evitar el inconveniente de la desigualdad de expansión.
5. La desigualdad de la expansión del lecho filtrante ocasiona que en ciertas áreas de los filtros, el material filtrante tenga un lavado ineficiente y en otras áreas la expansión sea exagerada, ocasionando que se pierda material.
6. No existe un criterio uniforme de operación para la duración del proceso del lavado, durante los ensayos se pudo determinar que el tiempo óptimo del lavado es de 12 minutos.
7. Por las necesidades que implica la continuidad del servicio de agua potable, en ciertas oportunidades los filtros son operados con caudales mayores a su capacidad máxima de diseño, 1.248 litros por segundo. Esta situación repercute en la calidad del efluente de los filtros, puesto que a mayor velocidad existe mayor arrastre de partículas que no podrán ser retenidas o bien que estando retenidas por el material filtrante, se desprenden y son arrastradas hacia la salida del agua filtrada.
8. Los ensayos de pérdida de carga se realizaron con dispositivos de medición instalados con este fin, puesto que los dispositivos originales de medición de pérdida de carga de la Planta Lo De Coy no funcionan. El comportamiento de la evolución de pérdida de carga está

siendo afectado por la mezcla de la antracita con la arena que está relleno los poros de ésta, causando un incremento en el atascamiento de los filtros y por lo tanto, aumento en la pérdida de carga. Esto ocasiona que los filtros tengan que estar siendo lavados con mas frecuencia de la debida, afectando la optimización del recurso agua dentro de la planta.

9. Existen cambios en los flujos de caudal hacia los filtros lo que está afectando la calidad de agua del efluente, puesto que todo cambio brusco de flujo en un filtro produce un desprendimiento de partículas adheridas al material filtrante y que son arrastradas hacia la salida de agua filtrada.
10. La eficiencia en la remoción de turbiedad se determinó por los procedimientos descritos en el numeral 3.4.1.3, llegándose a la conclusión que el 90% del tiempo la planta tiene una excelente eficiencia de remoción, produciendo agua con turbiedad menor a 5 U.T.N. El resto del tiempo produce agua con turbiedad dentro del rango permisible según la norma COGUANOR NGO29001.
11. Respecto a la remoción bacteriológica de las unidades de filtración, se puede concluir que sí existe y que está en un rango promedio de 68% a 91%, aunque está por debajo del rango recomendado 99%. Esta situación se dio porque no hay establecido un criterio sobre la frecuencia del lavado de los filtros con respecto a la calidad del agua, puesto que se pudo observar que el análisis bacteriológico de muestras obtenidas cuando la unidad estaba recién lavada si produjeron una remoción de 99%.
12. Los criterios que se utilizan actualmente para tomar la decisión de lavar filtros no son los más adecuados y esta situación repercute en la optimización del recurso agua dentro de la planta. Puesto que no se está tomando en cuenta la pérdida de carga, ni la calidad del efluente.

## RECOMENDACIONES

1. En lo que respecta a granulometría, el filtro número 2 es el que presenta resultados más críticos, se recomienda cambiar totalmente el material filtrante de esta unidad. **En las demás unidades el material que se deberá cambiar es la arena**, puesto que según los resultados es demasiado fina para la antracita instalada actualmente, se recomienda que la arena tenga un tamaño efectivo (d10) de 0.65 milímetros y un espesor de capa de 0.25m, además se deberá restituir la antracita perdida, con las siguientes características, tamaño grueso (d90) de 2mm, tamaño efectivo (d10) de 1.1mm, y un espesor de capa de 0.50m. Con estas características se obtiene un grado de intermezcla cercano a 3, que es lo recomendado para medios filtrantes dobles de arena y antracita.
2. Se recomienda que a todos los materiales filtrantes que se adquieran, se les realicen los análisis necesarios para cumplir con las especificaciones recomendadas, incluyendo el ensayo de friabilidad.
3. Se recomienda adoptar un rango de velocidades de lavado entre 0.58m/min a 0.69m/min.
4. Se recomienda rehabilitar el sistema de lavado superficial y posteriormente evaluar el tiempo que este sistema debe funcionar durante el lavado.
5. Evaluar la alternativa de que el agua de retrolavado ingrese simultáneamente, por la válvula de retrolavado y por la válvula del efluente del filtro, así se tendrán por lo menos 2 puntos de inyección de agua de retrolavado.
6. Se recomienda adoptar un tiempo de duración del proceso de lavado de 12 minutos.
7. Se recomienda que los técnicos encargados de la operación de la Planta Lo De Coy, realicen un estudio para operar la planta, cuando el caudal de tratamiento supere el caudal máximo de diseño.
8. Rehabilitar los dispositivos de medición de pérdida de carga.
9. Posteriormente a la rehabilitación de los elementos recomendados, por parte del personal técnico encargado de la operación de la planta, se deberán seguir ejecutando los controles para sustentar estadísticamente las mejoras propuestas.
10. Respecto a la calidad bacteriológica se recomienda seguir haciendo controles periódicos y sobre todo prestar toda la atención posible al proceso de desinfección por la aplicación de cloro, que en este momento es la responsable directa de poder suministrar al usuario agua sanitariamente segura.



## Referencias Bibliográficas

1. MANUAL DE OPERACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE LO DE COY.

– Cordón y Mérida Ingenieros  
Guatemala, Diciembre 1987

2. MANUAL DE OPERACION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA.

**CURSO:** OPERACION DE TRATAMIENTO DE AGUA.

– COMSIP ENGHENARIA S/A.  
– Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala –EMPAGUA–  
Guatemala, 1991.

3. MANUAL DE TRATAMIENTO DEL AGUA PARA INGENIEROS.

**CURSO:** OPERACION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA.

– COMSIP ENGHENARIA S/A.  
– Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala –EMPAGUA–  
Guatemala, 1991

4. COPIAS DEL CURSO DISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE.

Organizado por:

– Asociación Guatemalteca de Ingeniería Sanitaria –AGISA–,  
– Organización Panamericana de la Salud –OPS–,  
– Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria –CEPIS–,  
Guatemala, Diciembre 1992