

60
291



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE
INGENIERÍA BÁSICA PARA REMOVER HUEVOS DE
HELMINTOS POR FILTRACIÓN USANDO UN
EMPAQUE CONVENCIONAL Y OTRO NOVEDOSO”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
I N G E N I E R O C I V I L

PRESENTA

ALBERTO LEYVA AVILA

ASESOR

DRA. BLANCA E. JIMÉNEZ CISNEROS

México, 1997



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



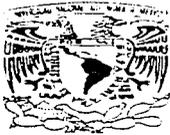
UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-054/96



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Señor
ALBERTO LEYVA AVILA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora **DRA. BLANCA JIMENEZ CISNEROS**, que aprobo esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

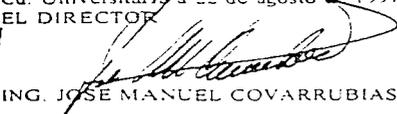
"DETERMINACION DE LOS CRITERIOS DE INGENIERIA BASICA PARA REMOVER HUEVOS DE HELMINTOS POR FILTRACION USANDO UN EMPAQUE CONVENCIONAL Y OTRO NOVEDOSO"

- I. INTRODUCCION
- II. REVISION BIBLIOGRAFICA
- III. METODOLOGIA EXPERIMENTAL
- IV. RESULTADOS
- V. COMPARACION ENTRE SISTEMAS DE FILTRACION
- VI. CONCLUSIONES
- VII. BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitario a 22 de agosto de 1997
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP*Imf

*A mis padres con cariño,
por el apoyo que siempre me brindan.*

*A Virginia, por su cariño, apoyo
y comprensión que en todo momento me brinda.*

*A mis hermanos y amigos,
por su apoyo y amistad incondicional.*

*A todos aquellos que colaboraron
en mi desarrollo personal y profesional.*

*A la Dra. Blanca E. Jiménez Cisneros y al
Instituto de Ingeniería, por darme la oportunidad
de realizar este trabajo dentro del proyecto 6345.*

CONTENIDO.

	página.
RESUMEN	i
LISTA DE TABLAS.	ii
LISTA DE FIGURAS.	iii
OBJETIVO	v
METAS	v
INTRODUCCIÓN	vi
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	
1.1 Implicaciones en salud pública debido al reúso del agua residual.	1
1.2 Principales especies de patógenos asociados con las aguas residuales.	1
1.3 Reúso.	2
1.4 Tratamiento primario avanzado.	4
1.4.1 Opciones del tratamiento primario avanzado.	5
1.5 Filtración.	7
1.5.1 Filtración a profundidad.	8
1.5.2 Operación de filtros a profundidad.	8
1.5.2.1 Variables relacionadas con el medio filtrante.	10
1.5.2.2 Variables que afectan las condiciones de operación en forma directa.	10
1.5.3 Filtros rápidos.	10
1.5.4 Mecanismos de la filtración.	11
1.5.4.1 Cribado.	12
1.5.4.2 Sedimentación.	14
1.5.4.3 Intercpción.	14
1.5.4.4 Impacto inercial.	15
1.5.4.5 Fuerzas de Van der Waals.	16
1.5.4.6 Interacción química	17
1.5.5 Lavado	17
1.5.6 Filtración de aguas residuales.	19
1.5.6.1 Filtración de efluentes primarios.	19
1.5.6.2 Filtración rápida de un TPA.	20
1.5.7 Empaques	21
1.5.7.1 Determinación de la curva granulométrica.	27

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.	
2.1 Ubicación.	29
2.2 Descripción de procesos de tratamiento	29
2.3 Sistemas de filtración.	31
2.3.1 Filtro de arena	33
2.3.1.1 Componentes del filtro	33
2.3.1.2 Material de construcción	34
2.3.1.3 Funcionamiento	36
2.3.1.4 Control de operación	36
2.3.1.5 Parámetros de control	37
2.3.2 <i>Fuzzy filter</i>	37
2.3.2.1 Componentes del filtro	37
2.3.2.2 Material de construcción	41
2.3.2.2.1 Material de empaque.	41
2.3.2.3 Funcionamiento	42
2.3.2.4 Control de operación	43
2.3.2.5 Parámetros de control	44
3. RESULTADOS.	
3.1 Filtro de arena	45
3.1.1 Filtración	45
3.1.1.1 Velocidades de filtración	45
3.1.1.2 Duración de carrera	46
3.1.1.3 Pérdida de carga	46
3.1.1.4 Sólidos suspendidos	51
3.1.1.5 Turbiedad	51
3.1.1.6 Color	51
3.1.1.7 Carga orgánica	51
3.1.1.8 Huevos de helmintos	60
3.1.2 Lavado	63
3.1.2.1 Sistema de lavado	63
3.1.2.2 Velocidades de lavado	63
3.1.2.3 Duración de lavado	63
3.1.2.4 Sólidos suspendidos en agua de lavado	63
3.2 <i>Fuzzy filter</i>	65
3.2.1 Filtración	65
3.2.1.1 Velocidades de filtración	65
3.2.1.2 Duración de carrera	65
3.2.1.3 Pérdida de carga	65
3.2.1.4 Sólidos suspendidos	69
3.2.1.5 Turbiedad	69
3.2.1.6 Color	69
3.2.1.7 Huevos de helmintos	69

3.2.2 Lavado	76
3.2.2.1 Sistema de lavado	76
3.2.2.2 Velocidades de lavado	76
3.2.2.3 Duración de lavado	77
3.2.2.4 Sólidos suspendidos en el agua de lavado	77
4. COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE FILTRACIÓN	
4.1 Parámetros de operación	80
4.2 Eficiencias de remoción	82
4.3 Distribución del tamaño de partícula	87
5. CONCLUSIONES	90
6. BIBLIOGRAFÍA	92
ANEXO A. BITACORA FILTRO DE ARENA (1ª ETAPA)	95
ANEXO B. BITACORA FILTRO DE ARENA (2ª ETAPA)	100
ANEXO C. BITACORA FUZZY FILTER	107

RESUMEN.

Partiendo de la efectividad que presentó el Tratamiento Primario Avanzado (TPA), como la opción más viable para tratar las aguas residuales del Valle de México (Jiménez *et al.*, 1995); se encontró que la filtración rápida es el complemento idóneo para que el TPA cumpla con los requerimientos de las NOM-001-ECOL/96 de < 1 y 5 huevos de helminto/L establecidos para el reúso de agua residual en riego agrícola.

Como parte de la metodología experimental, se construyó y operó un filtro de 30 cm de diámetro y 3.60 m de altura, empacado con una cama de arena de 0.96 m de espesor y TE de 1.2 mm, con un CU de 1.6. En dicho filtro, se efectuaron más de 20 corridas empleando tres diferentes velocidades de operación: 10, 12 y 15 m/h. Con lo anterior, se generó la información básica para el diseño de la filtración de un Tratamiento Primario Avanzado.

De igual manera, se instaló y operó un *fuzzy filter* (Schreiber, Tec.) de 0.21 m² de área superficial y 0.46 x 0.46 m. Se probaron dos tasas declinantes iniciales de 120 y 90 m/h variando la compresión del medio, definiendo también los criterios para el desarrollo de la ingeniería básica.

Ambos sistemas, lograron cumplir con el propósito de este trabajo, la remoción de los huevos de helmintos de un TPA, al lograr una calidad en el efluente de 0.16 org/L para el filtro de arena y de 0.43 org/L para el *fuzzy filter*.

Los resultados para el filtro de arena, en cuanto a los parámetros de diseño, fueron los siguientes: material de empaque con arena silicea, con un tamaño específico (TE) de 1.2 mm y con un coeficiente de uniformidad (CU) de 1.6; espesor de la cama filtrante de 0.96 m; velocidad de filtración de 12 m/h con una pérdida de carga máxima admisible de 2 mca y sistema de lavado con agua en contraflujo.

En cuanto al *fuzzy filter*, los parámetros de diseño determinados fueron: material sintético de empaque; compresión para el medio filtrante de 20 %; velocidad de filtración con tasa declinante de 120 m/h; material metálico de la carcasa y lavado con agua y aire.

Lista de Tablas.

	pagina	
Tabla 1	Usos potenciales del agua recuperada.	3
Tabla 2	Tipo de tratamiento primario.	7
Tabla 3	Condiciones de diseño actualmente recomendados para el TPA.	7
Tabla 4	Clasificación de los filtros a profundidad.	9
Tabla 5	Mecanismos de remoción.	12
Tabla 6	Características de un TPA filtrado.	22
Tabla 7	Valores registrados de H. H (DGCOH).	22
Tabla 8	Valores registrados de H. H (IMTA).	22
Tabla 9	Procedimiento de lavado.	22
Tabla 10	Empaques utilizados en filtración.	23
Tabla 11	Serie Americana de tamices.	27
Tabla 12	Características de la planta piloto.	31
Tabla 13	Determinación de la curva granulométrica.	33
Tabla 14	Características constructivas del filtro de arena.	35
Tabla 15	Condiciones de operación del filtro de arena.	36
Tabla 16	Parámetros empleados para el monitoreo.	37
Tabla 17	Características constructivas del <i>fuzzy filter</i>	42
Tabla 18	Resultados filtro de arena (primera etapa)	45
Tabla 19	Resumen del comportamiento del filtro.	46
Tabla 20	Valores registrados de helmintos: filtro de arena.	60
Tabla 21	Procedimiento de lavado.	63
Tabla 22	Valores registrados de helmintos: <i>fuzzy</i> .	76
Tabla 23	Parámetros de operación.	81
Tabla 24	Porcentaje de remoción.	82

Lista de Figuras.

	página
Fig. 1	6
Fig. 2	6
Fig. 3	13
Fig. 4	14
Fig. 5	15
Fig. 6	15
Fig. 7	16
Fig. 8	17
Fig. 9	18
Fig. 10	19
Fig. 11	23
Fig. 12	30
Fig. 13	29
Fig. 14	32
Fig. 15	33
Fig. 16	34
Fig. 17	35
Fig. 18	38
Fig. 19	39
Fig. 20	40
Fig. 21	40
Fig. 22	41
Fig. 23	42
Fig. 24	43
Fig. 25	44
Fig. 26	47
Fig. 27	48
Fig. 28	49
Fig. 29	50
Fig. 30	52
Fig. 31	53
Fig. 32	54
Fig. 33	55
Fig. 34	56
Fig. 35	57
Fig. 36	58
Fig. 37	59
Fig. 38	61
Fig. 39	62
Fig. 40	64
	66

Fig. 41	Comportamiento de la velocidad en función del tiempo.	67
Fig. 42	Duración de carrera en función de la compresión.	68
Fig. 43	Comportamiento de la presión respecto al tiempo.	70
Fig. 44	Sólidos Suspendidos.	71
Fig. 45	Remoción de SST.	72
Fig. 46	Turbiedad.	73
Fig. 47	Valores promedio de color.	74
Fig. 48	Relación de huevos de helmintos.	75
Fig. 49	Comportamiento de SS durante el lavado.	78
Fig. 50	Remoción de huevos de helmintos.	83
Fig. 51	Valores promedio de huevos de helmintos.	84
Fig. 52	Remoción de SST.	85
Fig. 53	Valores promedio de SST.	86
Fig. 54	Remoción de materia orgánica como DQO.	88
Fig. 55	Distribución del tamaño de partícula.	89

OBJETIVO.

El objetivo de esta investigación consistió en determinar y comparar las condiciones de operación, funcionamiento y eficiencia de dos sistemas de filtración rápida aplicados a un efluente primario avanzado, empleando como criterio de eficiencia la remoción de huevos de helmintos. Los sistemas considerados se diferenciaron fundamentalmente por el tipo de empaque: arena y sintético compresible.

METAS.

- * Determinar los parámetros básicos de diseño de la filtración en arena y medio sintético.
- * Definir la relación entre la duración de carrera y la tasa de filtración para diversas condiciones de operación.
- * Evaluar la eficiencia en cuanto a la remoción de los huevos de helmintos.
- * Determinar la duración de carrera del *fuzzy* a distintos valores de compresión del medio y evaluar el efecto del cambio de la porosidad a través de ésta.
- * Evaluar el consumo de agua para el lavado.

INTRODUCCIÓN.

La **Geología** del Valle de México indica que se trata de un graben formado de tal manera que la cuenca correspondiente al valle, en su origen y desde el punto de vista **hidrológico**, es cerrado lo que propició la formación de lagos. Existen precipitaciones, en general, de gran intensidad y corta duración que generan una recarga principalmente a través de la roca volcánica que constituye a las montañas que rodean el valle, como es natural la **permeabilidad** de esos **macizos rocosos** constituye factor fundamental en la generación de las **características hidrológicas** como la profundidad a que aparece el **nivel de aguas freáticas** y magnitud de los escurrimientos. La **descomposición química** produjo la presencia de arcillas lacustres con **coeficientes de compresibilidad volumétrica** relativamente grandes y **resistencia al esfuerzo cortante** pequeña. Lo anterior generó condiciones **artesianas** tales que los manantiales de agua potable abundaron en las márgenes del valle.

La fuerte explotación del agua subterránea y el drenado artificial del Valle, debido a las obras hidráulicas realizadas desde la época colonial (tajo de Nochistongo; Túnel de Tequixquiac; sistema de drenaje profundo, etc.), han provocado una fuerte declinación del nivel piezométrico en los acuíferos por lo que casi todos los manantiales se han secado. La mayor parte de las corrientes que bajan de las montañas son cortas e intermitentes. Por estas razones el agua superficial es una fuente excesivamente costosa, y el agua subterránea de los acuíferos del propio Valle es una alternativa atractiva y ampliamente utilizada. El 71% del gasto suministrado en la actualidad proviene de esta fuente; en cambio, la contribución del agua superficial que se origina en el propio Valle es insignificante: 2.3%. La explotación de los acuíferos se inició a mediados del siglo pasado, mientras que la desecación del Valle ha sido continua desde principios del periodo colonial.

El agua subterránea almacenada en el subsuelo es abundante para mantener el suministro actual, pero existen otros factores que limitan su explotación. El más restrictivo es el hundimiento diferencial del terreno, que ha producido muchos problemas en las cimentaciones de grandes edificios y obras civiles importantes, como lo es el drenaje pluvial y de aguas residuales. La causa del hundimiento es la gran deformabilidad de las arcillas lacustres que cubren el Valle, siendo la deformación volumétrica la que influye principalmente.

Es indudable que el crecimiento urbano del Valle de México ha dado origen a uno de los sistemas hidráulicos de mayor magnitud y más complejos desde el punto de vista operativo a nivel mundial. El Valle de México cuenta con 21 millones de habitantes ubicados en 1 320 km² y produce en promedio 40 m³/s de agua residual durante la época de estiaje, mientras que durante la época de lluvias alcanza los 300 m³/s y que en promedio anual representa 15 m³/s.

Desde la antigüedad la salida del agua residual y pluvial ha dado lugar a una serie de problemas y motivando la construcción de diversas obras hidráulicas. Así, se han edificado desde bordos de protección contra inundaciones en la época prehispánica hasta enormes túneles profundos en épocas recientes. El drenaje construido para manejar los escurrimientos del Valle de México es un sistema complicado, que transporta tanto aguas residuales como pluviales a través de una red primaria de 1 212 km de longitud y una red secundaria de 12 326 km (Gran Canal de Desagüe, Canal Nacional), ríos superficiales (ríos de los Remedios), ríos entubados (Viaducto Piedad, río Consulado, río Churubusco, río San Joaquín), colectores semiprofundos, presas, lagunas y 93 km de drenaje profundo (con diámetro hasta de 6 m).

El hundimiento regional (en algunos lugares de hasta 20 cm/año) se agudizó durante el presente siglo, debido principalmente al aumento del bombeo de las aguas del subsuelo y a obras como el segundo túnel de Tequixquiac, que ha acelerado la desecación del Valle. Uno de los problemas más graves que ha planteado el hundimiento del suelo es la modificación de las cotas topográficas de la ciudad con respecto a los del lago de Texcoco. En 1900 el lago tenía su fondo 3 m abajo del nivel medio de La Traza (zona antigua de la ciudad) pero para 1974 lo tenía 2 m arriba. Así, el Gran Canal de Desagüe resultó afectado presentando problemas serios y de alto riesgo con su funcionamiento. La reducción de su pendiente fue progresiva de 19 cm/km, 12 cm/km, 10 cm/km y 0 cm/km en 1910, 1950, 1970 y 1980, respectivamente. Este problema y la necesidad de evitar las inundaciones motivaron la construcción del "Sistema de Drenaje Profundo" que se inauguró en 1975. Este sistema se localiza a profundidades que varían entre 22 y 217 m y hasta ahora ha resuelto el problema de las inundaciones periódicas del Valle de México. Desde el siglo pasado esta agua se comenzó a enviar al Valle del Mezquital (Distrito de riego 03), con el propósito de aliviar las inundaciones.

Las características que presentan las aguas que llegan al Valle del Mezquital, son las siguientes: DBO de 52 a 460 mg/L, Coliformes Fecales del orden de $1.3 \cdot 10^7$ a $2.8 \cdot 10^{11}$ NMP/100 mL, Nitrógeno Amoniacal de 2.9 a 23 mg/L, Nitratos de 0.3 a 12.4 mg/L y Nitritos de 0.1 a 1.8 mg/L (Jiménez *et al.*, 1995). En el Mezquital, en su mayor parte, los suelos son de naturaleza calcárea con contenidos medios de sales, de poco espesor y nutritivamente pobres, por lo que la aportación de la materia orgánica, el nitrógeno y el fósforo por medio del agua de desecho ha resultado benéfica para la producción agrícola. En efecto, el empleo de esta agua no sólo ha permitido desarrollar la actividad agrícola; sino además, sus componentes han favorecido el aumento en la productividad del maíz en 150%, cebada en 100%, tomate en 94%, la avena para forraje en 83% y la alfalfa en 71%, entre otros. El empleo del agua residual en la zona aporta según cálculos, nutrientes del orden de 81 kg/ha-año de fósforo y 195 kg/ha-año como nitrógeno (CNA, 1993).

A simple vista, podría parecer conveniente el no tratar el agua; pero, de acuerdo con estudios efectuados por el Instituto Nacional de Salud Pública la incidencia de enfermedades (generadas principalmente por *Ascaris lumbricoides*, *Giardia lamblia* y

Eutamoeba histolytica) en la zona es 13 veces mayor para los niños que para las zonas donde se emplea agua tratada en riego (Cifuentes *et al.*, 1992). Puesto que se ha demostrado que la transmisión se realiza por el contenido microbiológico del agua residual, bastaría con controlar este parámetro para obtener el mismo beneficio eliminando sus consecuencias. De ahí el interés y la introducción en la NOM-001-ECOL/96 de la restricción de 1 Huevo de helminto viable/L, que se relaciona con el tipo de enfermedades gastrointestinales típicas en nuestro país.

Por otra parte, la literatura señala que el tamaño de los Huevos de helmintos oscila entre 20 y 80 μm y la densidad va desde 1.056 a 1.238, por lo que los procesos convencionales para su remoción son: sedimentación, coagulación y filtración; la desecación es el único proceso que los destruye, pero su aplicación práctica es limitada (Sotomayor *et al.*, 1994).

Ante esta situación, es necesario que las aguas que llegan al Distrito de Riego 03 (situado en la parte sur-oriental del estado de Hidalgo, con aproximadamente 45,000 ha de superficie comprendida entre los 19°50" a 20°25" latitud norte y 98°55" a 99°25" longitud oeste) sean sometidas a un proceso de tratamiento para disminuir el índice de mortandad y de morbilidad por las enfermedades gastrointestinales que se presenta; pero de igual manera es importante no perder, en su totalidad el aporte nutricional que dichas aguas generan en este sitio.

El objetivo principal de una planta de tratamiento de agua residual es reducir los riesgos sanitarios y evitar la contaminación de las aguas. Cuando el efluente de agua residual regenerada procedente de una planta se utiliza para regar, es necesario tener en cuenta también los posibles riesgos que pueden existir para los trabajadores agrícolas, los animales y los consumidores en general. Aunque la utilización de agua residual para regar constituye una forma eficaz de tratamiento, similar al tratamiento de baja carga en el terreno, el agua residual bruta debe ser sometida a un cierto grado de tratamiento antes de poder utilizarla para riego agrícola.

En este contexto el presente trabajo trata sobre una parte del complejo problema que representa el manejo y disposición del agua residual y pluvial del Valle de México. Para la realización fue necesario integrar conocimientos de **hidrología**, **mecánica de suelos** y **geología** para la comprensión del problema ocasionado por la explotación y disposición del agua así como de **hidráulica** e **ingeniería eléctrica** para el diseño y construcción de los modelos físicos. Por último, los conocimientos adquiridos en **planeación** y **evaluación** fueron de gran importancia para la realización de este proyecto.

CAPITULO 1

1.-REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La filtración de las aguas se requiere para remover patógenos que demeritan la calidad de un efluente. El acelerado crecimiento poblacional, y la baja capacidad económica de los países en vías de desarrollo tales como México, requieren de la búsqueda de fuentes disponibles de aguas del tipo no convencionales. Es aquí donde, las aguas residuales resultan ser una alternativa para el reúso agrícola.

El empleo del agua residual con fines agrícolas conlleva el establecer una serie de controles referentes a los diversos contaminantes; es necesario eliminar aquellos contaminantes que pudieran generar alteraciones en la salud pública de la población relacionada con su utilización.

1.1 Implicaciones en salud pública debido al reúso del agua residual.

Existen más de 50 formas de transmisión a partir de las excretas de un individuo infectado hacia otro. La transmisión mediante la ruta oral-fecal puede ocurrir mediante los dedos, el alimento, los utensilios, el agua o cualquier otra ruta que implique la ingestión de cuando menos una mínima cantidad de excretas.

Algunas de las enfermedades transmitidas mediante las excretas humanas son la causa de infecciones y muerte en los países subdesarrollados. La diarrea junto con la desnutrición, enfermedades respiratorias y malaria endémica son la principal causa de muerte infantil en estos países. Mientras que el cólera afecta a grupos de cualquier edad, pero especialmente a los niños cuando su presencia es endémica.

1.2 Principales especies de patógenos asociados con las aguas residuales.

Los principales grupos asociados con el reúso de las aguas residuales son las bacterias y los helmintos. Estos pueden ser clasificados de acuerdo a las recomendaciones de Feachem *et al.*, 1983 citado por Dunn, 1991.

Infecciones categoría I son causadas por patógenos, los cuales no son efectivos inmediatamente después de la excreción y tiene un bajo poder infeccioso. La transmisión de estos patógenos ocurre predominantemente mediante el contacto directo individuo-individuo, en el ambiente doméstico.

Los organismos causantes de la categoría de infecciones II son las bacterias excretadas. Son prácticamente inefectivas inmediatamente después de la excreción; sin embargo, si se ingieren en grandes cantidades pueden causar enfermedades. Tienen facilidad de multiplicarse en ambientes tales como alimento o leche.

Las enfermedades clasificadas dentro de la categoría III son causadas por la transmisión de nematodos intestinales los cuales no necesariamente requieren de un huésped al igual que de un período latente en el ambiente antes de producir una infección. La dosis mínima de infección la produce un sólo organismo.

La categoría IV, el organismo es ingerido por un huésped intermedio antes de que pase al ser humano mediante el consumo de productos de origen animal. Estos organismos pueden ser ingeridos mediante el riego de pastos y vegetales con aguas contaminadas.

Infecciones categoría V son aquellas causadas por los helmintos y que tienen como base el agua, y que requieren de uno o dos huéspedes. Estos patógenos pueden multiplicarse de manera asexual dentro del huésped intermedio. Las infecciones que producen pueden ser causadas mediante el consumo de alimentos o mediante la penetración de la piel. El empleo de las aguas residuales puede ayudar a desarrollar este tipo de transmisión.

1.3 Reúso

Por lo general un agua residual no es posible reutilizarla completamente o indefinidamente. La reutilización de un efluente tratado por medio directos o indirectos es, en definitiva, un método de evacuación que completa a otros existentes. La cantidad de efluente que puede reutilizarse depende de la disponibilidad y costo del agua potable o no contaminada, costos de transporte y tratamiento, normas sobre la calidad del agua y el potencial de reutilización del agua residual. La reutilización del agua se clasifica según su uso en: 1) municipal, 2) industrial, 3) agrícola, 4) de recreo y 5) de recarga de acuíferos (Tabla 1)) (Fuente: Metcalf & Eddy, 1979).

En caso de emergencia será posible la reutilización directa del agua residual como agua potable, tras dilución prolongada tanto como sea posible con aguas naturales después de ser sometida a tratamiento de coagulación, filtración y fuerte desinfección. En realidad, la práctica aquí enunciada varía muy poco respecto a la situación existente en muchos ríos utilizados tanto para abastecimiento de aguas como para la evacuación de las aguas residuales. Los métodos avanzados de tratamiento de agua y del agua residual, tales como la desmineralización y la desalinación, pueden eliminar casi totalmente las impurezas y el agua así tratada puede beberse sin temor alguno, una vez que haya sido desinfectada. Los métodos citados son muy caros y cuando su uso sea imprescindible por falta de abastecimiento de agua adecuada, la única solución económica consiste en adoptar un sistema doble de suministro. En tales casos, cabe utilizar los efluentes residuales debidamente tratados y desinfectados para la limpieza de inodoros mediante descarga, riegos, así como otras aplicaciones directas (Fuente: Metcalf & Eddy, 1979).

La industria es, casi con seguridad, quien consume más agua en el mundo y la mayor demanda de agua industrial es para procesos de agua de refrigeración. En algunos casos, la industria ha empleado también aguas con elevado contenido mineral, así como otras que no reúnen los requisitos estipulados en las normas sobre agua potable en lo referente a contenido de bacterias. Debido a que los procesos se utilizan en circuitos cerrados, se eliminan los posibles peligros estéticos y para la salud pública.

Tabla 1 Usos potenciales del agua recuperada (Fuente: Metcalf & Eddy, 1979)

Uso	Directo	Indirecto
Municipal	Riego de campos de golf o parques, riego de césped con sistema de distribución independiente, recurso potencial de aguas para abastecimiento del público.	Recarga de agua subterráneas para reducir el agotamiento de los acuíferos
Industrial	Agua para torres de refrigeración Agua de alimentación de calderas Agua para proceso.	Recarga de acuíferos para abastecimiento de agua para uso industrial.
Agrícola	Irrigación de ciertos campos agrícolas, cultivos, huertos, pastos y bosques	Recarga de acuíferos para usos agrícolas.
Recreativos	Construcción de lagos artificiales para usos náuticos, natación, piscinas, etc	Desarrollo de zonas para pesca y áreas acuáticas
Otros	Recarga de acuíferos para controlar la intrusión de agua salada, control del equilibrio salino en el agua subterránea, agente humectante para la compactación de residuos	Recarga de acuíferos para controlar los problemas de asentamiento del terreno, represurización de los pozos de petróleo, compactación del terreno.

Los cultivos susceptibles a regarse con agua residual reutilizada dependen de la calidad y cantidad del efluente, así como de las disposiciones de tipo sanitario relativas al empleo de agua residual para tal uso. En Estados Unidos, razones de tipo higiénico, se oponen al uso del agua residual sin tratar, y por supuesto, las verduras que se consumen crudas no pueden regarse con agua residual de ningún tipo. En algunos cultivos, tales como algodón, remolacha y verduras para producción de semillas, se permite el uso de efluentes de agua residual sin desinfectar o procedentes de un tratamiento secundario (Fuente: Metcalf & Eddy, 1979).

Los ejemplos típicos de reutilización de agua, en zonas de recreo, son el riego de campos de golf y parques, construcción de estanques para la práctica de deportes

náuticos y conservación de la fauna acuática o vida animal propia de los estanques. La tecnología actual permite la producción de un efluente de alta calidad que se ajusta muy bien a los objetivos citados. El empleo de efluentes tratados para el riego de parques se viene practicando en Estados Unidos desde hace muchos años.

La recarga de acuíferos es uno de los métodos más frecuentes para combinar la reutilización del agua y el aprovechamiento del efluente. La recarga se viene utilizando en muchas zonas como recarga de los abastecimientos de agua subterránea. Por ejemplo, el efluente de la estación depuradora de Whittier Narrows, depende de los Distritos Sanitarios de Los Angeles, se utiliza para la recarga del agua subterránea de la cuenca del río Hond. En Nueva York, California y otras zonas costeras, el rápido desarrollo de la industria y el aumento de la población han provocado una disminución del agua potable subterránea, dando como resultado la presencia de agua salada en los acuíferos de agua dulce. Para recargar los acuíferos y detener esta intrusión se han utilizado, en ocasiones, efluentes tratados. Otro posible uso de los efluentes es la recarga de los estratos que contienen petróleo. Las compañías petroleras han llevado a cabo grandes investigaciones sobre esta aplicación para mejorar la capacidad de producción de tales estratos (Fuente: Metcalf & Eddy, 1979).

En lo que respecta al reuso del agua en el Valle de México, parte del agua residual es tratada y reutilizada fundamentalmente para riego y contribuir así en la recarga del acuífero, en parques recreativos como Chapultepec, San Juan de Aragón y Xochimilco; y para usos industriales como en la Termoeléctrica del Valle de México. Para esto, funcionan 32 plantas de tratamiento a nivel secundario con capacidad de 8.7 m³/seg y que tratan un caudal medio de 4.8 m³/seg (150 millones de metros cúbicos al año) (Fuente: Capella A., 1996)

Además de estos reusos, el agua del drenaje del Valle de México se utiliza fundamentalmente en el riego de cultivos en las zonas de Chiconautla y Zumpango dentro del Valle del Mezquital y, la mayor parte, en la zona de Tula a la salida del Valle. En total se riegan en promedio 90,000 hectáreas con las aguas del drenaje del Valle de México (Fuente: Capella A., 1996).

1.4 Tratamiento primario avanzado.

El TPA es un proceso en el cual se añaden reactivos químicos al agua para eliminar sólidos suspendidos y materia orgánica evaluada como DBO total. Este proceso es muy similar al proceso físico-químico que tiene más de 100 años de aplicación. En 1930, este proceso se dejó de emplear en favor de los procesos biológicos debido al elevado costo ocasionado por el tratamiento de una gran cantidad de lodos. Actualmente, su aplicación a retornado con dos fines: la eliminación del fósforo y la obtención de efluentes de calidad media a costos inferiores a los convencionales. El nuevo auge del proceso se debe también al reconocimiento de que el costo del

tratamiento debe ser acorde con la eficiencia deseada y a que los avances en la síntesis de polímeros floculadores con altas eficiencias se ha logrado a un menor costo.

Los fundamentos teóricos del proceso primario avanzado tiene que ver con tres aspectos: a) la desestabilización de los sólidos suspendidos, b) la formación de floculos y c) la eliminación de estos de la suspensión. Los dos primeros aspectos están relacionados con la teoría de la coagulación-floculación y el tercero con el de la sedimentación.

El tratamiento primario avanzado es utilizado en varias plantas de gran capacidad, particularmente en Estados Unidos como la de Point Loma, San Diego; o la Hyperion en los Ángeles; así como en Montreal, Canadá; Marsella, Francia; y en las plantas de Noruega y Suecia.

La diferencia entre el proceso fisico-químico y el primario avanzado, es que en el primer caso se tienen remociones de SST y de DBO del orden del 90 %, esto como consecuencia de añadir dosis altas de coagulantes. Este tratamiento se considera como un tratamiento secundario. En cambio, el TPA emplea dosis mucho menores a las del fisico-químico, y se apoya en polímeros de alto peso molecular para el proceso de floculación; remueve la carga orgánica y DBO, así como los nutrientes en la proporción necesaria para que el agua tratada conserve sus propiedades nutricionales. Además, es útil para incrementar la capacidad de las plantas biológicas; en efecto, el empleo del TPA tiene la ventaja de disminuir el requerimiento de oxígeno y el tamaño del reactor biológico. Para mantener una eficiencia constante con gastos de alta variabilidad, el TPA no tiene comparación con los procesos biológicos: su flexibilidad es muy alta; entre otras ventajas el tratamiento primario avanzado es capaz de eliminar metales pesados, con eficiencias del orden de 70%.

1.4.1 Opciones del tratamiento primario avanzado.

Existen cuatro configuraciones típicas del tratamiento primario (Fig 1) (Shao, 1993):

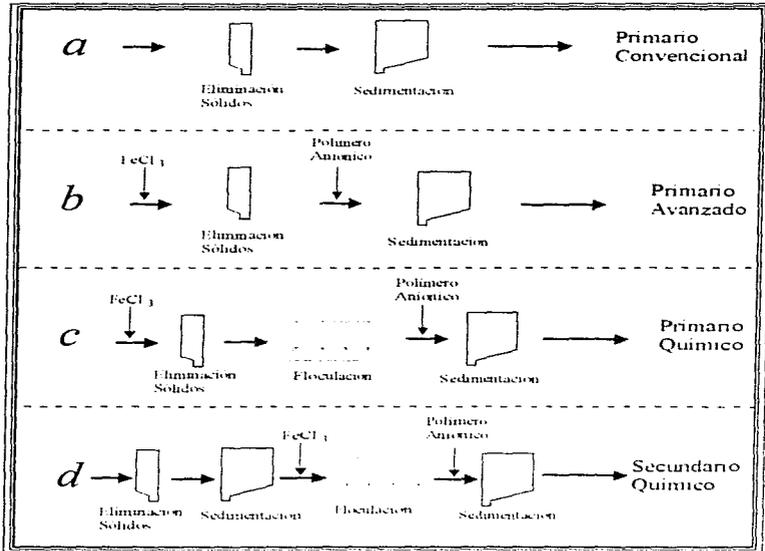
a) Tratamiento primario convencional: consiste básicamente en desarenación y sedimentación primaria. Su eficiencia es de 65 % en remoción de sólidos suspendidos y 30 % en DBO, para aguas residuales domésticas.

b) Tratamiento primario avanzado: tiene una configuración igual al anterior, pero se le añaden reactivos; generalmente se emplean cloruro férrico con dosis de 10 a 40 mg/L, combinadas con pequeñas cantidades de polímero aniónico. Este proceso remueve entre 80 y 85 % de los sólidos suspendidos y 50 a 55 % de la DBO.

c) Tratamiento químico primario: en este caso se tiene una unidad de coagulación-floculación antes de la sedimentación. Se emplea ampliamente en Noruega y Suecia, donde el criterio de diseño para la etapa primaria se basa, además de la eliminación de

fósforo, en los sólidos suspendidos y DBO. En este caso las dosis empleadas son altas (150 mg/L de cloruro férrico con 0.2 mg/L de polielectrolito aniónico), con eficiencias de más del 90 % para los sólidos, 75 % para la DBO y 95 % para el fósforo.

Fig. 1 Configuración del tratamiento primario
(Fuente: Shao, 1993)



d) Tratamiento químico en dos etapas: este proceso se desarrolló en 1980, y consiste en añadir reactivos en dos pasos. El primero es un tratamiento primario avanzado y el segundo es un proceso de floculación; las dosis y el volumen de los reactores son menores. En la Tabla 2 se muestran los tipos de tratamiento, así como sus respectivas eficiencias de remoción.

La Tabla 3 presenta una comparación en cuanto al funcionamiento de un tratamiento primario avanzado empleando cloruro férrico y sulfato de aluminio.

Tabla 2 Tipo de tratamiento primario (Fuente: Shao, 1993)

Proceso	Configuración	% de SS	% DBO	% P
Primario convencional	DA+SP	65	30	11
Primario Avanzado	(AC)DA+(AP)SP	80-85	50-55	31
Floculación primaria	(AC)DA+FL+(AP)SP	90	75	95
Floculación de dos etapas	DA+SP+(AC)FL+(AP)+SeS	83	52	SD

DA: desarenación SP: sedimentación primaria AC: adición de coagulante
 AP: adición de polímero FL: floculador SeS: sedimentación secundaria SD: sin datos.

Tabla 3 Condiciones de diseño actualmente recomendados para el TPA
 (Fuente: John, 1994 y Riaz-Chaudhay, 1991)

Parámetro	Cloruro Férrico	Sales de Aluminio
Sólidos en el sobrenadante	Menor	Mayor
Flóculos	Más compacto	Menos compacto
Concentración de sólidos en el espesador	5.5%	3.4%
Olores en el espesado	Nulo	Presente
Efectos sobre la digestión de lodos	Mejora	-
Corrosión	Controlada por la capacidad del sulfuro	-

1.5 Filtración

La filtración del agua es un proceso físico-químico que separa los sólidos suspendidos y la materia coloidal de la fase líquida por medio de un material poroso. La filtración consiste en hacer pasar una mezcla sólido-líquido a través de un medio poroso (filtro) que retiene los sólidos y deja pasar los líquidos.

Entre otros, la filtración (Jiménez, 1995):

- * disminuye la carga de sólidos y material coloidal en el agua
- * remueve las partículas y materia coloidal no sedimentable después de la floculación biológica o química
- * incrementa la remoción de sólidos suspendidos, turbiedad, fósforo, materia orgánica (medida como DBO y DQO), metales pesados, asbestos, bacterias y virus

- * mejora la eficiencia y reduce el costo de desinfección a través de la remoción de materia orgánica suspendida y otras sustancias interferentes

1.5.1 Filtración a profundidad

Dependiendo de la forma en que los sólidos son retenidos, se conocen tres tipos principales de filtración:

- superficial
- a través de un soporte grueso y,
- profundidad

Para determinar la naturaleza de la filtración, se considera el criterio adimensional siguiente (Jiménez, 1995):

$$e = \frac{18P}{Rm d^2} (s - e) \dots\dots\dots(1)$$

donde:

- P pérdida de carga a través de la placa de resistencia Rm.
- d diámetro de las partículas a retener.

Naturaleza de la filtración:

- e < 100 sobre membrana
- e > 1000 en profundidad
- 100 > e < 1000 sobre membrana y en profundidad

Dentro de la clasificación de filtración, la que se utiliza para el tratamiento del agua es la de profundidad, tanto para potabilizar como para depurar; en este tipo de filtración la retención de sólidos se lleva a cabo en todo el cuerpo del filtro. A lo largo de la filtración a profundidad, el agua va llenando los poros del filtro y lleva a cabo la desestabilización de las partículas, así como su transporte y retención; por esto último, es conveniente el empleo de coagulantes ya que son de gran ayuda durante el proceso.

Los filtros profundos se clasifican de diversas formas, como lo muestra la Tabla 4.

1.5.2 Operación de filtros a profundidad

Las variables generales de operación y diseño de filtros son (Metcalf & Eddy, 1979):

- 1.- Tamaño del grano del medio filtrante, densidad y composición
- 2.- Porosidad

- 3.- Pérdida de carga producida por el lecho limpio
- 4.- Profundidad del medio filtrante
- 5.- Tasa de filtración
- 6.- Pérdida de carga permisible
- 7.- Características del influente.
 - a) Concentración de sólidos suspendidos
 - b) Distribución del tamaño del floculo
 - c) Estabilidad del floculo
 - d) Carga eléctrica del floculo

Tabla 4 Clasificación de los filtros a profundidad (Fuente: Jiménez, 1995)

Fuerza motriz	Por gravedad A presión
Velocidad de filtración	Lentos Rápidos
Tipo de proceso	Convencional Directo
Dirección de Flujo	Ascendentes Descendentes Biflujo Horizontales
Medio filtrante	Simple o unicos Dual Combinado o múltiple
Situación en un sistema de tratamiento	Primario Secundario Terciario

Dichas variables permiten: caracterizar el material filtrante (variables 1, 2 y 3); estimar la pérdida de carga con fines de diseño (variables 1, 2, 4, 5 y 7) y caracterizar el material que será filtrado (variable 7)

Se ha determinado como regla general que cuando el influente excede los 100 mg/l. en concentración de sólidos, los filtros no deben ser usados, exceptuando de ésta a la filtración directa, donde se pueden tratar influentes con concentraciones superiores a las determinadas por la regla (Landa, 1996).

En el funcionamiento y operación de los filtros, la característica más importante del influente es la cohesión del floculo, la cual varía con la forma de operación del proceso. La cohesión del floculo biológico es mucho mayor que la del floculo químico (Tchobanoglus y Eliassen, 1970). Como resultado, el floculo biológico puede ser eliminado por filtración a altas velocidades, mientras que los químicos, al ser débiles y

romperse, se deben eliminar con velocidades bajas de filtración. La fuerza del floculo químico puede ser controlada mediante el uso de polimeros como ayuda de la coagulación.

1.5.2.1 Variables relacionadas con el medio filtrante.

La principal característica del medio filtrante es la distribución del tamaño del grano ya que determina el rendimiento de operación de la filtración, la pérdida de carga del medio y su evolución a lo largo de la corrida del filtro. Si el medio filtrante es demasiado pequeño se empleará mucha fuerza para vencer la resistencia del medio; en caso contrario, si el tamaño del medio es demasiado grande, las partículas pequeñas del influente pasarán directamente a través del filtro (Landa, 1996).

1.5.2.2 Variables que afectan las condiciones de operación en forma directa

Son los parámetros que determinan la duración de las corridas, y se describen a continuación (Jimenez, 1995).

Características del agua por filtrar. La principal característica del influente es la concentración de sólidos suspendidos, la cual es medida como peso o como turbiedad. Otros factores importantes son el tamaño de la partícula, su distribución y la consistencia del floculo.

Espesor del medio filtrante. En el caso de los medios simples, se tienen los siguientes espesores: de 25 a 40 cm de grava, que sirve como soporte del medio y para una mejor distribución del flujo durante la operación de lavado, y de 60 a 100 cm de arena para filtros descendentes, y hasta 250 cm para filtros ascendentes.

Velocidad de filtración. La velocidad de filtración que se puede aplicar depende principalmente de la resistencia del floculo. Si la consistencia es débil, las velocidades de filtración altas tenderán a destrozarlo y sus fragmentos serán arrastrados a través del medio. Además, es importante señalar que, al utilizar velocidades altas, la pérdida de carga a través del medio será mayor, y en consecuencia, la duración de las corridas será menor (Kawamura, 1975).

1.5.3 Filtros rápidos.

El término filtración rápida se aplica cuando la tasa de filtración es del orden de 5 a 29 m/h (algunas veces más) (Metcalf and Eddy, 1991). Un filtro rápido consiste en un lecho de profundidad variable entre 80 cm y varios metros. El transporte de las partículas hasta el medio filtrante se produce por difusión, intercepción, sedimentación, choque o transporte hidrodinámico. Este proceso está ayudado por la

floculación que tiene lugar en los intersticios del filtro y por la distancia de recorrido relativamente corta necesaria para la eliminación por sedimentación (Steel y McGhee, 1981).

La fijación de las partículas después de entrar en contacto con el medio filtrante es de naturaleza química y está influenciada por el pH, composición química del agua, edad del floculo, las características de la superficie del medio y la naturaleza y dosis del polímero. Tanto el medio filtrante como las partículas suspendidas del agua pueden tener cargas eléctricas relativamente importantes que pueden ayudar o inhibir la fijación. De forma general, las partículas de mayor tamaño y fuertemente ligadas tienen tendencia a ser retenidas en las capas superficiales del filtro, dando lugar a grandes pérdidas de carga y poca penetración del floculo. Las partículas suspendidas finas penetran más, especialmente cuando el medio es grueso (Jiménez, 1995).

La filtración rápida convencional con arena como medio filtrante, necesita agua de baja turbiedad, y por ello, generalmente se ha empleado la coagulación (con alumina o cal), floculación y sedimentación como etapa previa o en el mismo tanque (Steel y McGhee, 1981). El lavado de estos filtros es con agua o con agua y aire con flujo ascendente. Este proceso se emplea en tratamientos avanzados como complemento de la coagulación-floculación y de la precipitación para asegurar la calidad del efluente.

1.5.4 Mecanismos de la filtración.

El agua que entra a un filtro, contiene una gran variedad de partículas en suspensión. Su tamaño puede variar desde floculos relativamente grandes de 1 mm de diámetro hasta coloides, bacterias y virus con tamaños inferiores a 10^{-4} mm (1 μ m). Dentro de esta gama se pueden encontrar partículas electropositivas, electronegativas y neutras, o microfloculos con polimeros adsorbidos. Todo este conjunto queda en mayor o en menor proporción retenido en el lecho filtrante, preferentemente adherido a la superficie de los granos formando una película alrededor de ellos, cuya resistencia al esfuerzo cortante producido por la fuerza de arrastre del flujo, es función de la magnitud de las fuerzas que mantienen pegadas a las partículas a cada elemento del medio granular. Si estas fuerzas son débiles, el floc será arrastrado por el flujo y penetrará cada vez más hondo, hasta que eventualmente aparecerá en el efluente. Si son en cambio fuertes, el floc quedará retenido obstaculizando el paso del agua temporalmente, incrementándose así la pérdida de carga.

Resulta de aquí, que el mecanismo que transporta la materia en suspensión dentro del lecho filtrante y lo adhiere con mayor o menor eficacia a él, tiene que ser distinto según sea el tamaño de las partículas, su densidad y las características electroquímicas que posea.

De acuerdo con Arboleda (1973) y Tchobanoglous (1970) los mecanismos de remoción se clasifican en dos grupos: predominantemente físicos o

predominantemente químicos según el tipo de factores que involucren. En la Tabla 5 se presentan los principales mecanismos identificados en la literatura:

Tabla 5 Mecanismos de remoción (Fuente: Jiménez, 1995).

1. Cribado*
a) mecánico
b) por contacto casual
2. Sedimentación*
3. Impacto inercial*
4. Intercepción*
5. Adsorción química
a) enlace
b) interacción química
6. Adsorción química
7. Adhesión
8. Floculación
9. Crecimiento biológico

*Usualmente identificados como mecanismos de remoción

Los cuatro primeros mecanismos son del tipo físico y están básicamente afectados por los parámetros tales como tamaño del grano, porosidad, velocidad de filtración, densidad y tamaño de la partícula suspendida, temperatura del fluido y espesor del medio filtrante.

Los mecanismos restantes se relacionan con las características químicas de la superficie tanto de la materia en suspensión como del medio filtrante. En este caso los factores importantes son: carga electrostática de la partícula, composición química y por último, presencia de coagulantes, cuando existe un pretratamiento.

Los distintos mecanismos de transporte de las partículas dentro de los poros del medio filtrante están esquematizados en la Fig 2.

1.5.4.1 Cribado

Es evidente que cuando la partícula es de mayor tamaño que los poros del lecho filtrante, puede quedar atrapado en los intersticios. El cribado actúa solo en las capas más superficiales del lecho y con partículas relativamente fuertes capaces de resistir los esfuerzos cortantes producidos por el flujo, cuya velocidad aumenta en los espacios entre los granos.

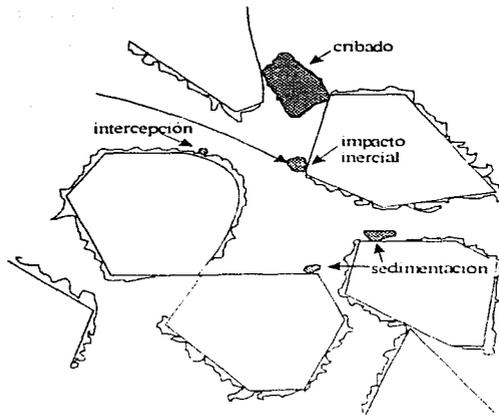


Fig 2 Diferentes mecanismos que producen transporte de las partículas hasta los granos de un medio filtrante (Fuente: Arboleda, 1973)

Para este mecanismo existen dos formas de retención de partículas: mecánica y por contacto casual. Son cribadas mecánicamente las partículas más grandes que los poros del medio filtrante, mientras que las más pequeñas son atrapadas dentro del medio por contacto casual (Fig 3).

Basado en consideraciones geométricas, Hall (Arboleda, 1973) afirma que la probabilidad de remoción de una partícula por cribado (Pr) es directamente proporcional a su diámetro (d) e inversamente proporcional al diámetro del grano del medio filtrante (D) elevado a la 3.2. Esto es:

$$Pr \cong \left(\frac{d_p}{D} \right)^{3.2} \dots\dots\dots(2)$$

donde

- d_p diámetro de partículas
- D diámetro de grano del medio

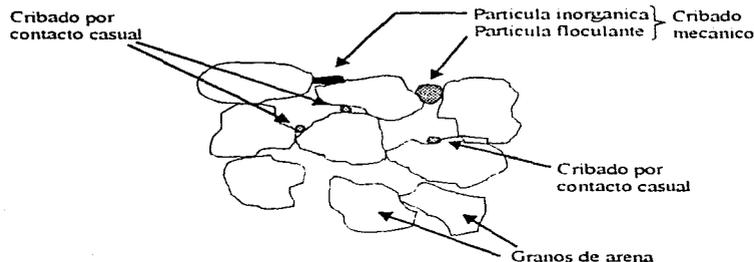


Fig 3 Remoción por cribado (Fuente: Arboleda, 1973)

1.5.4.2 Sedimentación

En 1904 Hazen (citado por Arboleda, 1973) sugirió que la remoción de las partículas menores que el tamaño de los poros, podía deberse a la sedimentación de ellas en la superficie de los granos. De modo que, si se sumara el área total de todos los granos que hay en 1 m^3 de arena de 0.5 mm de diámetro con 40% de espacios vacíos, se tendría un área de $7\,200 \text{ m}^2$, de la cual sólo el 5.6% sería aprovechable, es decir, 400 m^2 de superficie.

Aun aceptando un gran margen de error en estas cifras, es indudable que el medio filtrante ofrece una enorme área, donde los sólidos suspendidos pueden quedar depositados por sedimentación.

La sedimentación solo puede producirse con material suspendido relativamente grande y denso, cuya velocidad de asentamiento sea alta en zonas del medio donde la carga hidráulica sea baja (Fig 4).

1.5.4.3 Interccepción

Camp y Stein (Arboleda, 1973) trabajando con un modelo de filtro, llegaron a la conclusión de que "la remoción del floc dentro del lecho es llevada a cabo primeramente por "contacto" de las partículas de floc con la superficie de los granos o con floc ya depositado o adherido a ellos" (Fig 5). Si se supone que las "A" viajan con las líneas de flujo, lo cual es cierto para bajas velocidades, resulta claro que al producirse el estrechamiento de dichas líneas en la contracción (B), éstas se ven forzadas a ponerse en contacto entre sí y con el medio filtrante, quedando interceptadas por éste.

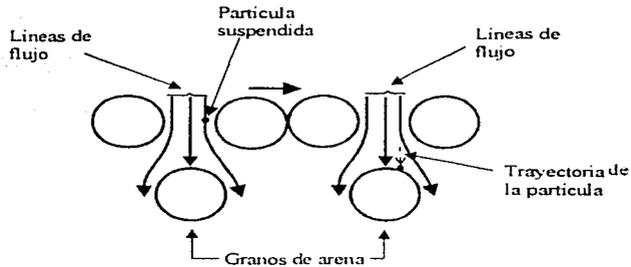


Fig 4 Eliminación por sedimentación de partículas
(Fuente: Arboleda, 1973)

Según O'Melia y Stumm (citados por Arboleda, 1973), la eficiencia del filtro " λ " debido a la intercepción, es directamente proporcional al cuadrado del diámetro de la partícula " d_p " e inversamente proporcional al diámetro D del grano.

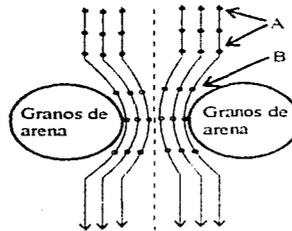


Fig 5 Eliminación de partículas por intercepción
(Fuente: Arboleda, 1973)

1.5.4.4 Impacto inercial

Cuando la velocidad del flujo es baja, la partícula viaja como se supuso anteriormente con las líneas de flujo. En cambio cuando la velocidad es alta y la partícula es grande,

debe tenerse en cuenta los efectos de la inercia, los cuales hacen que aquella pueda seguir una trayectoria distinta a las líneas de flujo, si adquiere suficiente cantidad de movimiento para eso. Esto implica que al pasar una suspensión alrededor de un obstáculo, mientras las líneas de flujo se curvan, las partículas pueden continuar su trayectoria original, impulsadas por la fuerza de inercia, y chocar con el grano del filtro quedando adheridas a él (Fig 6).

En el caso de la filtración de suspensiones líquidas, la viscosidad del fluido hace difícil que la materia suspendida pueda adquirir suficiente cantidad de movimiento como para que el mecanismo de remoción por impacto inercial sea significativo.

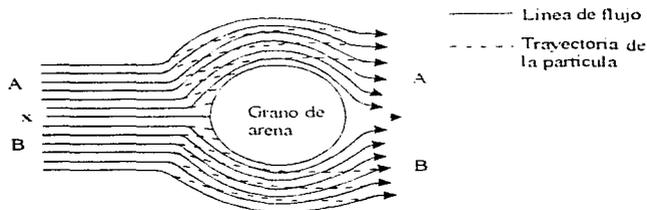


Fig 6 Eliminación de partículas por impacto inercial
(Fuente: Arboleda, 1973)

1.5.4.5 Fuerzas de Van der Waals

V. Mackrle y S. Mackrle (Arboleda, 1973) sugirieron que las fuerzas de Van der Waals son las responsables de la adhesión de las partículas a los granos del medio filtrante. De forma que existe un volumen alrededor de cada grano "espacio de adhesión", en el cual las partículas suspendidas que entran a él son removidas del flujo al quedar adheridas en la superficie de los granos (Fig 7). La acción es análoga a un sedimentador, en el cual la fuerza de gravitación es remplazada por la fuerzas de Van der Waals. Cuando las fuerzas de Van der Waals actúan a muy corta distancia y el diámetro de la partícula es mucho menor que el diámetro del grano, estas se determinan mediante la fórmula

$$F_a = \frac{K' d_p}{12 r^2} \dots\dots\dots(3)$$

Donde

K' constante de atracción de Van der Waals
 d_p diámetro de la partícula
 r distancia entre partícula y grano

El valor de la constante de Van der Waals se incrementa con la densidad de las partículas, de manera que el floculo más denso se adhiere con mayor fuerza al medio filtrante.

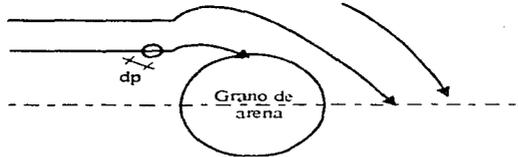


Fig 7 Eliminación de partículas por las fuerzas de Van der Waals
(Fuente: Arboleda, 1973)

1.5.4.6 Interacción Química

En este mecanismo, se considera que las cadenas poliméricas adheridas a las partículas en suspensión se encuentran suspendidas en el agua y pueden así adherirse a otras partículas o a sitios vacantes de los granos del medio (Arboleda, 1973).

El uso de ayudantes de filtración inyectados en el influente es de gran utilidad para este caso, ya que aumentan la adhesión de las partículas pequeñas al medio filtrante (Fig 8).

1.5.5 Lavado

Como proceso unitario, la filtración a profundidad consta de dos etapas: una de ensuciamiento del medio y otra de limpieza. La primera determina básicamente la calidad del efluente y la segunda, la cantidad de agua producida. En consecuencia, la eficiencia de un filtro es función de ambas (Jiménez, 1995).

El lavado del filtro es la operación por la cual se suspende el proceso de filtración y se inyecta agua por la parte de abajo del filtro (drenes) con presión adecuada, con el

objeto de que el lecho filtrante se expanda, los granos se froten y se desprenda todo el material que ha quedado retenido entre ellos en la operación de filtrado.

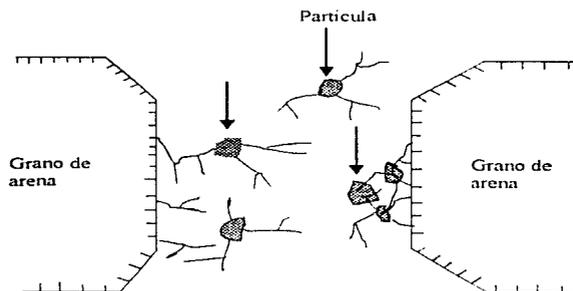


Fig 8 Eliminación de partículas por interacción química
(Fuente: Arboleda, 1973)

El lavado debe hacerse cada vez que la carga en el tanque de alimentación sea igual a la presión estática sobre el lecho más la pérdida de carga en un filtro por gravedad, o bien, cuando se llegue al Δp de bombeo establecido. En ambos casos es también limitante la disminución en la calidad del filtrado.

De acuerdo con Gregory (1972) este término describe el cambio de posición de los floculos en el lecho y ocurre a la tasa normal de filtración. Se debe a que la acumulación de los sólidos en los poros superiores ha sido completada y comienzan a llenarse los inferiores. Lo ideal es que la Δp máxima permisible y la perforación del filtro se den al mismo tiempo (Fig 9). Sin embargo, por cuestiones de seguridad los filtros se diseñan y operan de forma que la Δp máxima se alcance antes de la perforación.

La limpieza de un filtro se puede efectuar de dos formas. La primera consiste en remover la capa superior del filtro en forma manual. Este método se emplea únicamente para filtros lentos donde las partículas no penetran al fondo del empaque. La segunda, consiste en aplicar agua en sentido ascendente. Por costumbre y tomando en cuenta la operación de los filtros con flujo descendente, se denomina como retrolavado. El lavado de un filtro debe remover los floculos superficiales y también los encontrados a todo lo largo del lecho ya que en la filtración de alta tasa existe una mejor repartición de los sólidos (Jiménez, 1995).

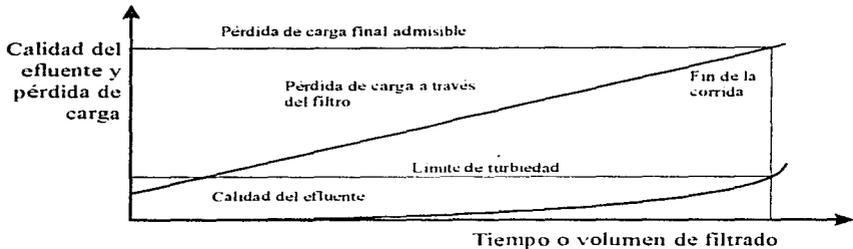


Fig 9 Esquema para definir la duración de la corrida en términos de la pérdida de carga y la calidad del efluente (Fuente: Metcalf & Eddy, 1991).

1.5.6 Filtración de aguas residuales.

Debido a que las aguas residuales municipales crudas son putrescibles y obstruyen con rapidez a los filtros, no son susceptibles a ser tratadas en las plantas convencionales de filtración lenta o rápida. Sin embargo, existen efluentes procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales biológicas o químicas que se pueden filtrar con buenos resultados. La filtración con arena se convierte entonces en una operación terciaria de tratamiento para las aguas residuales; como tal, puede proporcionar una protección mejorada a las masas receptoras de agua o preparar los efluentes para que se usen de nuevo en la industria, agricultura o recreo, y para la recarga del suelo (Fair J. y Okun D., 1979)

Para esta aplicación debe tenerse en cuenta que la confiabilidad del sistema y la calidad del efluente tratado es más baja que en los sistemas de agua potable y que existe mayor riesgo de formación de aglomerados con la grasa y los microorganismos que se retienen en el medio filtrante ("mud balls"). Esto comúnmente es originado por lavados incompletos que provocan, en la práctica, el incremento de la pérdida de carga, un decremento de la duración de la corrida y la baja relación filtrado-lavado (Siemak, 1984).

1.5.6.1 Filtración de efluentes primarios.

El problema principal de la filtración de afluentes primarios sedimentados es la alta concentración de sólidos suspendidos (superiores a 200 mg/L), causa principal del desarrollo de las pérdidas de carga; además de la presencia de lama biológica y grasa formadora de aglomerados que han favorecido a este problema. Pero el desarrollo de

filtros de lechos pulsantes ha permitido que la filtración de afluentes primarios se comience a practicar (Landa, 1996).

1.5.6.2 Filtración rápida de un TPA.

Dentro de los estudios previos realizados para la remoción de los helmintos en un TPA, existen los reportados por Jiménez *et al.*, 1995, Landa *et al.*, 1996 y Landa, 1996.

Landa (1996), construyó 3 filtros de arena sílice, los que operaron de manera continua las 24 hrs del día. Realizó en ellos más de 50 carreras de filtración empleando arena de TE 0.6, 0.8 y 1.2 mm.

La operación de cada filtro llegó hasta alcanzar la pérdida de carga máxima admisible de 1.7 metros de columna de agua (mca).

Desde un inicio desechó el filtro de TE 0.6 mm debido a que presentó corridas inferiores a las 5 h. Tal y como supuso, la duración de las carreras de filtración presentaron un incremento cuanto mayor era el TE del material filtrante y menores eran las tasas de filtración; el filtro TE 1.2 mm presentó un comportamiento superior al filtro con TE 0.8 mm. En ambos filtros, el mayor tiempo de duración se presentó para la velocidad de 7 m/h, mientras que para la velocidad de 15 m/h se registraron los menores tiempos de duración.

Teniendo en cuenta la duración de carrera y cada una de las velocidades a la que trabajaron los filtros, construyeron un nomograma; el cual resulta ser una ayuda de diseño ya que en el diseño de filtros para el tratamiento de las aguas residuales, los parámetros están generalmente limitados a la selección del tamaño del medio y a la tasa de filtración.

La concentración de SST en el influente que registraron presentó variaciones a lo largo de toda la investigación, el intervalo estuvo comprendido entre 38 y 96 mg/L. En lo que corresponde a las concentraciones en los efluentes, el filtro 2 (TE 0.8 mm) éstas variaron entre 20 y 88 mg/L; a su vez al filtro 3 (TE 1.2 mm), correspondieron concentraciones entre 18 y 80 mg/L.

Landa, 1996, reporta que los mejores valores de remoción en cuanto a turbiedad en el filtro de TE 0.8 mm se presentaron cuando la tasa de filtrado fue de 10 y 15 m/h. Por otro lado, en el filtro de TE 1.2 mm a velocidades de 7 y 10 m/h generaron las mejores remociones. Los mayores porcentajes de remoción que reportan Landa (1996) son cuando la tasa de filtración fue de 7 m/h para los filtros de TE 0.8 y 1.2 mm; las turbiedades que se registraron en el efluente estuvieron comprendidas entre 56 y 253 UTN, mientras que los valores registrados en los efluentes de los filtros de TE 0.8 y 1.2 mm variaron de 29 a 240 UTN y 21 a 225 UTN respectivamente.

En lo referente a color, obtuvo valores bajos de remoción; el mayor de éstos se presentó en el filtro con TE 0.8 mm (17%) trabajando a una velocidad de 7 m/h, por su parte el filtro de TE 1.2 mm sólo alcanzó valores de remoción del orden de 6 a 10%.

Las concentraciones de DQO que se presentaron en el influente variaron del orden de los 76 mg/L hasta los 350 mg/L. Los valores promedio que se presentaron en los efluentes de los filtros fue de 195 mg/L para el filtro de TE 0.8 mm, y de 175 mg/L para el filtro de TE 1.2 mm. En cuanto a la remoción, el filtro de TE 1.2 mm tuvo casi un 27 % la cuál fue superior al filtro de TE 0.8 mm, el cuál tuvo una remoción de 23 % como remoción máxima.

El contenido total de nitrógeno en un agua residual municipal, después de un tratamiento secundario, oscila entre 20 y 60 mg/L N (Westcot *et al.*, 1990). Los valores reportados en este trabajo fueron del orden de 42 a 45 mg/L N; se menciona también que la mejor remoción se consiguió en el filtro de TE 0.8 mm y fue de un 9%.

En lo referente al Nitrógeno Amoniacal ($N-NH_3$) no sufrió ninguna variación en su concentración a lo largo del tratamiento primario avanzado y ni en la filtración. Las concentraciones que se registraron de fósforo, tanto en el influente como en el efluente de los filtros de TE 0.8 y 1.2 mm fueron de 5.9 a 7.8 mg/L y 5.3 a 7.6 mg/L respectivamente.

La Tabla 6 muestra las características promedio de los efluentes filtrados haciendo una comparación con la NOM-001-ECOL/96 presentados por Landa, 1996. En cuanto a los huevos de helmintos, las Tablas 7 y 8 muestran los valores que obtuvieron para el efluente filtrado.

Otra de las aportaciones realizadas por Jiménez *et al.*, 1995 y Landa, 1996 radicó en el empleo de un nuevo sistema de retrolavado de filtros rápidos. Se emplearon velocidades entre 75 y 80 m/h, con las que se consiguieron la expulsión de los flocs atrapados; con éstas, disminuyeron los tiempos de lavado de lavado (sólo 2 min. por ciclo). El criterio de lavado empleado queda descrito en la Tabla. 9.

1.5.7 Empaques

Los principales tipos de lechos filtrantes utilizados en la filtración del agua residual pueden clasificarse de acuerdo con el número de medios filtrantes: de medio único, de medio doble, o de medio triple (Fig 10). En todos los tipos, la filtración tiene lugar en dirección descendente, y los lechos se limpian fluidificándoles en dirección ascendente. La distribución de los tamaños del grano para cada medio después del contralavado va desde el grano fino al grano grueso. El grado de mezclado entre ellos, en los lechos de

medio doble y triple, depende de la densidad y de las diferencias de tamaño de los diversos medios (Metcalf. & Eddy, 1979).

Tabla 6 Características de un TPA filtrado (Landa *et al.*, 1996)

PARAMETRO	UNIDAD	Filtro TE 1,2 mm	Filtro TE 0,8 mm	NOM-032
pH		7.73	7.76	5-10
SST	mg/L	80	67	200
SSV	mg/L	40	49	
Turbiedad	UTN	46	45	
Color	Pt-Co	200	183	
Alcalinidad Total	mg/L (CaCo ₃)	805	796	
DQO total	mg/L	211	172	
DQO soluble	mg/L	211	174	
DBO total	mg/L	90	100	200
DBO soluble	mg/L	69	69	
Fósforo Total	mg/L	8.21	7.2	30
Cond. eléctrica	µhoms cm	2274	2287	
S. Totales	mg/L	1844	1844	
Coliformes Totales	NMP/100 mL	100 · 10 ⁴	60.667 · 10 ⁶	
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	100 · 10 ⁴	9.633 · 10 ⁶	2000

Tabla 7 Valores registrados de H. H. (DGOH)

EFLUENTE PRIMARIO			FILTRO TE 0.8 mm		
PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
1.35	4.80	0.25	0.06	0.43	0.00
EFLUENTE PRIMARIO			FILTRO TE 1.2 mm		
PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
1.86	7.70	0.65	0.10	0.25	0.00

Tabla 8 Valores registrados de H. H. (IMTA)

EFLUENTE PRIMARIO			FILTRO TE 0.8 mm		
PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
1.58	3.03	0.45	0.05	0.18	0.00
EFLUENTE PRIMARIO			FILTRO TE 1.2 mm		
PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO	PROMEDIO	MÁXIMO	MÍNIMO
1.71	5.16	0.45	0.042	0.18	0.00

Tabla 9 Procedimiento de lavado (Jiménez *et al.*, 1995)

CICLO	VELOCIDAD m/h	TIEMPO min.	EXPANSION %
Alto	75-85	2	18-20
Bajo	45-55	2	8-10
Enjuague	75-80	-	18-20

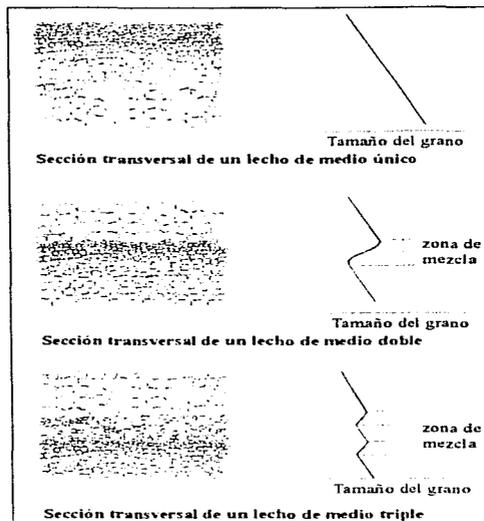


Fig 10 Tipos de lechos filtrantes (Fuente: Metcalf & Eddy, 1979).

Los lechos de medio doble y triple, se desarrollaron para permitir que los sólidos en suspensión presentes en el líquido a filtrar pudieran penetrar a mayor profundidad dentro del lecho filtrante, y por consiguiente tuviera lugar un mayor uso de la capacidad de almacenamiento de sólidos dentro del filtro. En comparación, se ha observado que los lechos de medio único, la mayor parte de la eliminación se produce en unos pocos centímetros de la parte superior del lecho. La mayor penetración de los sólidos en el lecho permite también una mayor duración del ciclo de filtrado ya que reduce la velocidad del incremento de pérdida de carga.

Dentro de los diferentes materiales utilizados en filtración (Tabla 10), la arena y la antracita son los mas comúnmente usados.

Tabla 10 Empaques utilizados en filtración (Fuente: Jiménez, 1995).

Arena	Carbón
Antracita	Granate
Resinas	Tezontle

El medio filtrante debe ser tal que (Jiménez, 1995):

a) en la filtración:

- * detenga los flocúlos con poca compresión, para facilitar el lavado y evitar la formación de aglomerados de lodo, y
- * retenga el mayor volumen posible de flocúlos sin obstruirse.

b) en el lavado:

- * se limpie fácilmente y quede libre de flocúlos,
- * permita el paso del agua con suficiente velocidad para quitar los sedimentos sin perder arena, y
- * tenga mayor densidad que los sólidos retenidos, de modo que no se pierda al fluidificar durante el lavado.

En la práctica, se debe lograr un compromiso entre estos requisitos, en especial, respecto al tamaño de la arena. El tamaño del grano es la característica principal del medio filtrante que afecta a la calidad del filtrado. El tamaño del grano afecta tanto a la pérdida de carga como a la velocidad a la que aumenta la misma durante el ciclo de filtrado. Si se selecciona un medio filtrante demasiado pequeño, la mayor parte de la fuerza actuante se gastará en vencer la resistencia de fricción ofrecida por el lecho del filtro. Por otro lado, si el tamaño del medio es demasiado grande, muchas de las partículas pequeñas del agua a tratar pasarán directamente a través del lecho (Metcalf & Eddy, 1979).

El medio filtrante debe seleccionarse con un tamaño y densidad que favorezcan a que las fuerzas de fricción ejercidas durante el lavado conduzcan a una limpieza adecuada. Desde este punto de vista, los granos no deben ser tan grandes como para requerir una tasa de lavado tan alta y el espesor del lecho tampoco debe ser importante, pues dificulta la salida de los sólidos (Jiménez, 1995).

Allen Hazen (citado por Arboleda, 1973) sugirió en 1892 como parámetros básicos para caracterizar los medios granulares, lo que él denominó "Coeficiente de Uniformidad y Diámetro Efectivo".

El coeficiente de uniformidad (que mejor debería llamarse de desuniformidad, pues su valor se incrementa a medida que la arena es menos uniforme), es la razón del 60 al 10 %, así:

$$CU = \frac{\text{Abertura del tamiz que dejara pasar el 60 \% (mm)}}{\text{Abertura del tamiz que dejara pasar el 10 \% (mm)}}$$

El diámetro efectivo o tamaño específico (TE) es la abertura de la malla que deja pasar el 10 %. Este parámetro fue sugerido por Allen Hazen en 1892, debido a que había

observado, trabajando con filtros lentos, que la resistencia del lecho filtrante no estratificado al paso del agua era la misma, cualquiera que fuera el tamaño del grano. (hasta un $CU = 5$) era el mismo.

Una vez seleccionado el tipo de lecho filtrante, el siguiente paso consiste en especificar las características del medio, o medios si se usa más de uno. Normalmente ello conlleva la selección del tamaño del grano o de la porosidad, la forma, graduación del medio, su peso específico, profundidad, y la dureza y solubilidad de los diversos materiales usados en el lecho filtrante. Además, es necesario determinar el tipo de soporte del medio a utilizar y la altura del agua sobre el lecho filtrante.

Las características de los principales materiales usados como medios filtrantes se mencionan a continuación (Arboleda, 1973):

Arena.- La arena que se usa en los filtros rápidos es de 2.0 mm de diámetro, y está compuesta de material silíceo con una dureza de 7 en la escala de Moh y un peso específico no menor de 2.60. Deberá estar limpia: sin barro o materia orgánica, y no más de 1 % podrá ser material laminar o micáceo. La porosidad de la arena se relaciona con su forma: las arenas redondeadas tienen porosidades que varían entre 40 y 44 % y de las arenas angulares, porosidades mayores, por lo general entre 42 y 46 %. La porosidad varía según el grado de compactación del lecho y la limpieza del mismo.

Antracita.- La antracita debe tener una dureza de 3.0 ó mayor en la escala de Moh y su peso específico no debe ser menor de 1.55. El contenido de carbón libre no debe ser menor del 85 % del peso. Una de las principales características de la antracita debe ser la durabilidad para que pueda resistir la abrasión producida por el lavado sin desintegrarse. Las antracitas blandas son arrastradas por el flujo de lavado, con lo que el volumen y la altura del medio en los filtros se disminuye con rapidez. La antracita se usa con tamaños entre 0.6 y 1.4 mm. Los tamaños efectivos menores $TE=0.6$ a 0.8 se prefieren cuando se la emplea como el único medio filtrante y los tamaños entre 0.8 y 1.4, cuando se la utiliza en lechos múltiples de arena y antracita o arena, antracita y granate o ilmenita.

Otros materiales para medios filtrantes.- Como medios filtrantes se usan también, en combinación con la arena y la antracita (generalmente como tercera capa) el granate ($S_s=4.20$), la ilmenita ($S_s=4.6$) y la magnetita ($S_s=4.90$). Experimentalmente se ha empleado el poliestireno como primera capa con $S_s=1.04$.

Grava.- La grava se la coloca sobre el sistema de drenaje, cuando éste lo requiere y tiene un doble propósito:

- a) servir de soporte al lecho de arena durante la operación de filtrado para evitar que ésta se escape por los drenes.
- b) distribuir uniformemente el agua de lavado.

El tipo y tamaño del lecho de grava depende del sistema de drenaje que use.

Como se mencionó anteriormente, los principales tipos de lechos filtrantes se clasifican de acuerdo con el número de medios filtrantes. Aunque también puede efectuarse otra clasificación de acuerdo con la estratificación del medio, como sigue: 1) medio único estratificado, 2) medio único o medio mixto no estratificado, 3) medio de doble capa estratificado y 4) multimedio estratificado. Por consiguiente, el primer paso a dar a la hora de especificar el lecho filtrante es seleccionar el tipo de medio a utilizar (Metcalf & Eddy, 1979).

Lecho de medio único estratificado. Aunque se hayan utilizado los lechos del medio único estratificados de diseño convencional para la filtración de agua residual, estos lechos no son de uso normal. La razón principal es lo poco favorable de sus características en relación con el aumento de pérdida de carga (Metcalf & Eddy, 1979).

Lecho de medio único no estratificado. Existen dos tipos de lechos de medio único no estratificado utilizados en la actualidad. En el primer tipo se utiliza un medio individual, uniforme y grueso (2 a 3 mm) en lechos con espesores de hasta 2 m. Se ha comprobado que con estos medios de gran tamaño, los filtros de gran espesor, las duraciones del ciclo filtrado son mayores. Dependiendo del tipo de proceso de tratamiento, estos filtros pueden usarse para la desnitrificación simultánea del agua residual, a pesar de que la velocidad de filtración deberá ser notablemente menor. Sus principales desventajas son 1) la necesidad de un tamaño uniforme del medio, 2) las altas velocidades de lavado requeridas para fluidificar el lecho a fin de conseguir un lavado efectivo y 3) el costo adicional que suponen las instalaciones de lavado y la estructura necesaria para soportar los lechos de gran espesor (Metcalf & Eddy, 1979).

En el segundo tipo se usa un medio único con tamaños variables con un lavado mixto a base de aire y agua

Normalmente el tamaño efectivo del medio utilizado en filtros no estratificados es aproximadamente el mismo que el utilizado en las capas superiores de un medio de lecho doble. El espesor de tales filtros es aproximadamente de 0,9 m.

Lechos de medio doble y múltiple. Algunos de los lechos filtrantes de medio doble utilizados se componen de: 1) antracita y arena, 2) carbón activo y arena; 3) resina y arena, y 4) resina y antracita. Los lechos múltiples que parecen tener futuro se componen de: 1) antracita, arena y granate o ilmenita; 2) carbón activo, antracita o arena; 3) granos esféricos de resinas lastrados (con o sin carga), antracita y arena, y 4) carbón activo, arena, y granate o ilmenita (Metcalf & Eddy, 1979).

1.5.7.1 Determinación de la curva granulométrica.

La determinación de la curva granulométrica es un análisis que se emplea no solo en el tratamiento de aguas sino, en general, para caracterizar cualquier material granular como se requiere en mecánica de suelos, en la industria de la construcción, etc. El procedimiento para su determinación es el siguiente:

1) Colocar la muestra de arena (se recomienda de 100 a 1000 g) en un juego de tamices estandarizados de tamaño consecutivo (Tabla 11) dispuesto en orden decreciente de apertura y efectuar un cribado intenso durante 5 min como mínimo en un agitador mecánico.

Tabla 11 Serie Americana de Tamices

Serie No.	Apertura mm
100	0.140
70	0.210
50	0.297
40	0.420
30	0.595
20	0.841
16	1.190
12	1.680
8	2.380
6	3.360
4	4.760
1/4	6.360
3/8	9.510
1/2	12.700
3/4	19.000
1	25.400

2) Se pesa la arena retenida en cada malla y se calcula el porcentaje que representa del total de la muestra.

3) Se suman los porcentajes anteriores en forma acumulativa para cada tamaño con el objeto de obtener el porcentaje retenido acumulado en cada malla, es decir, la fracción que es mayor que el tamaño de la apertura correspondiente y que por tanto no pasa a los tamices menores.

4) Se calcula la fracción del material que es mayor que el tamaño de la criba correspondiente, restándole al 100 % cada uno de los valores anteriores.

5) Se grafica en papel semilogarítmico la apertura de la malla en mm contra el porcentaje que pasa acumulado y se obtiene la curva granulométrica.

6) El tamaño efectivo (TE) se obtiene leyendo el valor de la apertura para el 10 % y representa el tamaño de la décima parte del material que pasa la criba y que determina la eficiencia de filtración.

7) El valor del coeficiente de uniformidad (CU) se calcula dividiendo los tamaños correspondientes al 60 y 10 % de ducha curva.

Si se desea una arena de $C_u=1.7$ y $TE=0.5$ se trazaría en la gráfica, una línea que pase por 0.5 para 10 % y $1.7 \times 0.5 = 0.85$ para 60 %.

CAPITULO 2

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

2.1 UBICACIÓN.

Para la realización de la investigación se emplearon las instalaciones de la Comisión Nacional del Agua (CNA) localizadas en el distrito de Riego Chiconautla, Municipio de Ojo de Agua, Edo. de México. En dicho sitio se encuentra una estación de bombeo, que con agua proveniente del Gran Canal (km 27), riega toda la región agrícola aledaña. La Fig. 11 muestra el punto de localización.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.

Con el objetivo de continuar con las Pruebas de Tratabilidad de las Aguas Residuales del Valle de México, y considerando la flexibilidad que presenta el Tratamiento Primario Avanzado (TPA) para producir un efluente con calidad intermedia acorde a las necesidades de riego; se instaló un proceso de tratamiento para el desarrollo del TPA. La Fig. 12 y 13 muestran una imagen de la planta piloto.



Fig. 12 Vista parcial de la planta.

El tren de tratamiento que desarrolló la planta piloto estaba constituido por: desarenación, cámara de coagulación o mezcla rápida, cámara de floculación o agitación lenta, unidad de manto de lodos y por último un sedimentador de alta tasa (placas paralelas).

La Tabla 12 presenta tanto las características constructivas como de operación de cada uno de los diversos componentes de la planta piloto:

Tabla 12 Características de planta piloto.

Unidad	Dimensiones	Condiciones de operación
Eliminación de sólidos gruesos		
Mezcla rápida	0.8 m diámetro x 5.5 h	200 r.p.m.
Cámara de floculación	1.2 m diámetro x 5.5 h	30 r.p.m.
Manto de lodos		

Con una previa eliminación de los sólidos gruesos (básicamente basura), el proceso consistió de una cámara de coagulación o mezcla rápida, con una agitación de 200 r.p.m. En ésta etapa se aplicó el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$. Posteriormente, la cámara de floculación o de agitación lenta, en ella se adicionaba el polímero; con un régimen de mezclado de aproximadamente 30 r.p.m. Dentro de las innovaciones que presentó esta planta, estuvo la unidad de manto de lodos que estaba conectada directamente con el sedimentador de alta tasa. En esta etapa se realizó la separación de la fase líquida (agua tratada) y los lodos producidos. Dichos lodos eran extraídos del sistema; parte de ellos para su recirculación (10 %) y el resto para purga. El tiempo de retención hidráulico fue de 30 min.

2.3 SISTEMAS DE FILTRACIÓN.

En estudios previos, Landa (1996) demostró la efectividad que presenta la filtración rápida en arena como proceso unitario para la remoción de los helmintos. El reporta eficiencias superiores al 95%, con lo cual se cumple perfectamente con la normatividad tanto nacional como internacional, que restringe en 1 org/L la concentración de helmintos dentro de un efluente destinado al reuso agrícola, las concentraciones que el obtuvo después de la filtración son del orden de 0.1 org/L.

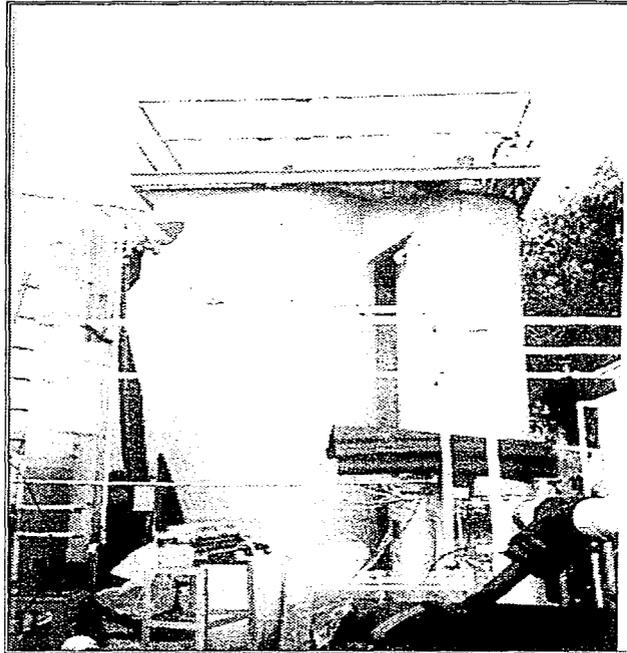


Fig. 13 Vista frontal de la planta.

Los trabajos desarrollados por el autor anteriormente mencionado, estuvieron basados únicamente en el empleo de arena sílicea de TE 0.6, 0.8 y 1.2 mm con un CU de 1.6. Con este tipo de material empleó cuatro velocidades de filtración: 7, 10, 12 y 15 m/h.

Para llevar una continuidad con los estudios anteriormente señalados, en este trabajo se tomó como base los resultados reportados por Landa (1996), más la instalación de un nuevo sistema de filtración: *fuzzy filter*.

2.3.1 Filtro de arena.

2.3.1.1 Componentes del filtro.

El sistema estuvo constituido por una columna de filtración de 30 cm de diámetro y una altura de 3.58 m. El material de empaque fue arena silícea de TE 1.2 mm y CU de 1.6 (Landa, 1996); la curva granulométrica, se construyó con los datos de la Tabla 13 y se presenta en la Fig. 14.

Tabla 13 Determinación de la curva granulométrica.

Malla No	Abertura mm	Peso gr	° Retenido	° Acumulado
16	1.19	55	11	11
14	1.41	55	11	22
12	1.68	75	15	37
10	2.00	190	38	75
8	2.38	125	25	100

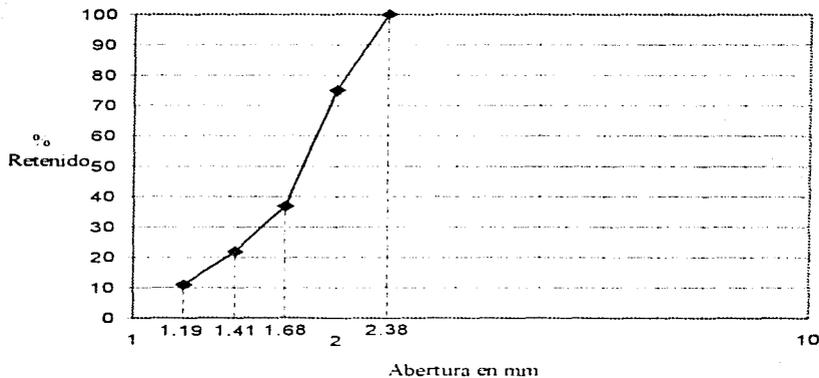


Fig 14 Curva granulométrica

Las componentes del sistema fueron: sistema de alimentación mediante una "regadera" distribuidora, medio filtrante de arena, tres puertos de muestreo, sistema de bajo dren a base de gravilla, boquillas distribuidoras, sistema de bombeo para lavado y una base metálica de soporte. Las Fig. 15 y 16 muestran detalles de la columna de filtración.

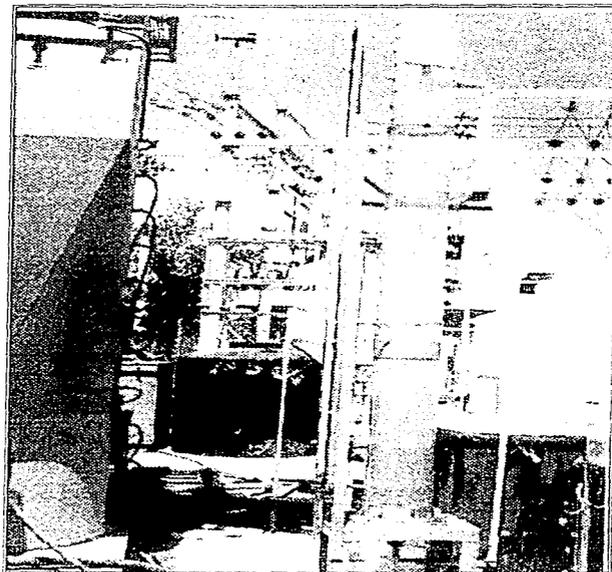


Fig. 15 Filtro piloto (vista lateral).

2.3.1.2 Material de construcción.

Para la construcción del filtro se empleó una columna de material acrílico apoyada sobre una base metálica. El propósito de emplear material transparente fue con el fin de observar el comportamiento de la columna durante el proceso de filtración y de lavado de acuerdo a las recomendaciones de Adin, 1985 y Metcalf and Eddy, 1992. La Tabla 14 reúne las principales características de construcción.

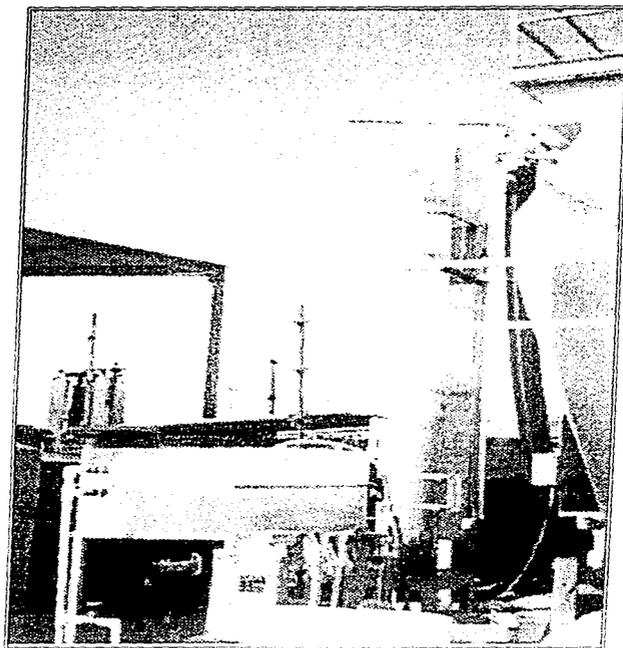


Fig. 16 Filtro piloto (frente).

Tabla 14 Características constructivas del filtro de arena.

No de unidades	1
Diámetro de columna, m	0 30
Sección transversal, m ²	0 06005
Espesor del lecho, m	0 96
Espesor de la gravilla, m	0 14
Número de puertos, pulg	3
Diámetro de cada puerto, m	0 019
Material de construcción	acrilico
Tipo de soporte	metálico

2.3.1.3 Funcionamiento.

Posterior al TPA, el agua era conducida por gravedad a la parte superior del filtro mediante una tubería de PVC de 1" de diámetro conectada a un rotámetro (10 a 85 lps) cuyo propósito era el de controlar el gasto de entrada al filtro. En este punto, el agua pasaba a través de una regadera con perforaciones de 1/8", con el fin de tener una distribución homogénea sobre la superficie del medio filtrante. Durante su paso por la cama filtrante, el agua tenía que cruzar un medio de 96 cm de espesor hasta llegar a la parte inferior de la columna, donde salía a través de 4 boquillas ranuradas que tenían una función doble: coleccionar el agua filtrada y distribuir el agua durante el lavado.

El proceso de lavado estuvo constituido por un sistema de bombeo formado por dos bombas centrífugas: 1 y 2 HP. Dicho sistema de lavado estaba conectado a la parte inferior de la columna, ya que el lavado era de tipo ascendente. El sistema hidráulico de lavado estuvo formado por tubería de PVC de 1" de diámetro. Cada bomba estaba conectada a la columna en paralelo, controladas por un rotámetro.

2.3.1.4 Control de operación.

Con la instalación de un rotámetro de capacidad variable (10 a 85 lps) a la entrada del filtro se controló el gasto de operación. De igual manera, a la salida de las bombas se ajustaba el gasto de agua para el lavado. Con la instalación de 3 puertos de muestreo distribuidos a lo largo de la cama filtrante, se monitoreaba el comportamiento en cuanto a la remoción de turbiedad, color y SST que presentaba la cama filtrante a diferentes alturas.

Dentro del desarrollo de la investigación se buscó demostrar la flexibilidad del filtro mediante el funcionamiento a diversas condiciones de operación: La Tabla 15 muestra dichos criterios.

Tabla 15 Condiciones de operación del filtro de arena.

	Velocidad		Gasto de operación		Δp
	12	15	11.01	13.21	
10				16.51	2.0

El proceso de lavado del filtro, se realizó empleando el sistema propuesto por Jiménez *et al.*, 1995. El cual consiste en un lavado por etapas y ciclos.

2.3.1.5 Parámetros de control.

El control del filtro se inició tomando muestras cada dos horas, para conocer tanto el funcionamiento como el comportamiento del influente y efluente. Dicho muestreo se realizó las 24 horas del día. La Tabla 16 agrupa los principales parámetros de control empleados durante el seguimiento de un sistema de filtración.

Tabla 16. Parámetros empleados para el monitoreo .

PARAMETRO	UNIDAD	FRECUENCIA
Turbiedad	UTN	cada 2 h
Color	Pt-Co	cada 2 h
Ap	mca	cada 2 h
pH		Rutinario
Temperatura	°C	Ocasional
Sólidos suspendidos totales	mg/L	cada 2 h
Sólidos suspendidos volátiles	mg/L	cada 2 h
Sólidos suspendidos fijos	mg/L	cada 2 h
DQO(soluble y total)	mg/L	Ocasional
Huevos de Helmintos	org/L	Rutinario

Como parámetro adicional a los anteriores, se determinó el tamaño de partícula con el propósito de establecer una correlación entre la capacidad de remoción del filtro y el tamaño de los helmintos tal y como lo hizo Landa *et al.*, 1996. La distribución del tamaño de partícula genera resultados más rápidos para conocer las características de los diversos componentes de un agua residual en función del diámetro (μm); mientras que una determinación tradicional de helmintos requiere hasta de varios días.

2.3.2 Fuzzy filter.

El *fuzzy filter* es un nuevo sistema de filtración de reciente introducción en México, pero que a nivel internacional se tienen más de 8 años de experiencia. Dicho filtro emplea un material sintético de alta porosidad (85 al 95%) empacado dentro de una carcasa, la cual trabaja a presión. Una de las principales características es que opera con flujo ascendente. En la Fig. 17 se muestra el modelo empleado en esta investigación.

2.3.2.1 Componentes del filtro.

El primer componente del sistema de filtración consiste en un tanque de plástico cuya función era la de regular el gasto de entrada al filtro y mantener un volumen de almacenamiento para garantizar el suministro de agua.

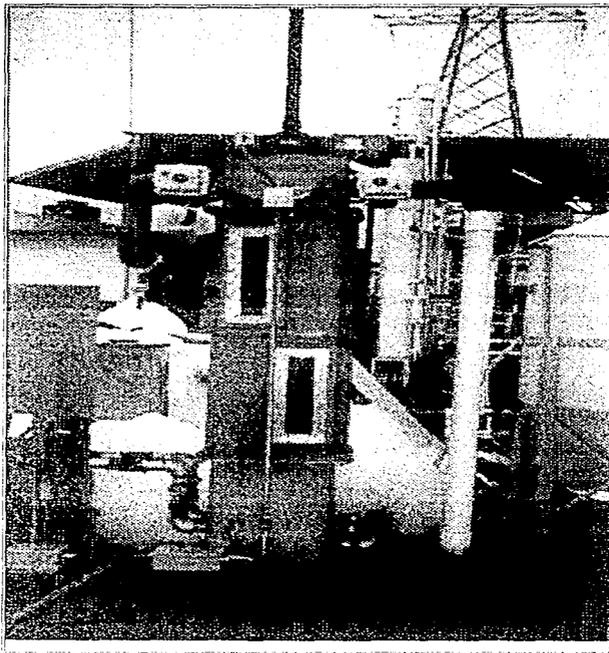


Fig. 17 Fuzzy filter.

Todas las interconexiones del filtro fueron tubería de PVC de 4" de diámetro (Fig. 18). Como se mencionó anteriormente el filtro esta compuesto por una carcasa, que bien puede ser de material acrílico o metálico, y cuya función es la de almacenar el material filtrante. Dicho empaque esta constituido por esponjas esféricas de material sintético de alta porosidad. El medio filtrante se encuentra contenido entre dos placas, cuya función es la de comprimirlo. La placa superior se encuentra unida a un vástago el cual tiene un desplazamiento vertical para comprimir o liberar al material. Como el funcionamiento del filtro puede realizarse de dos maneras: ya sea en modo automático

o manual, dentro de las instalaciones se contó con un tablero de control ilustrado por la Fig. 19.

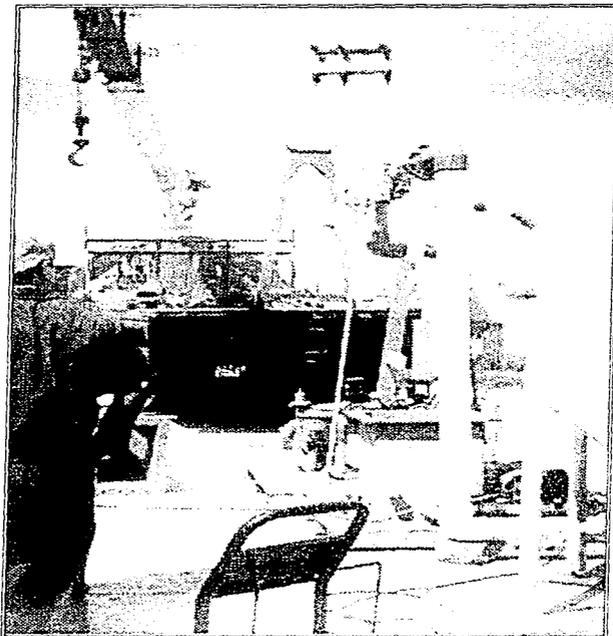


Fig. 18 Instalación hidráulica.

Para la etapa de lavado, se contó con una bomba centrífuga que cumplió una función similar al las instaladas en el filtro de arena; junto con esto, el Fuzzy contó con un compresor que suministraba el aire necesario para el lavado. La Fig. 20 muestra el equipo anteriormente descrito.

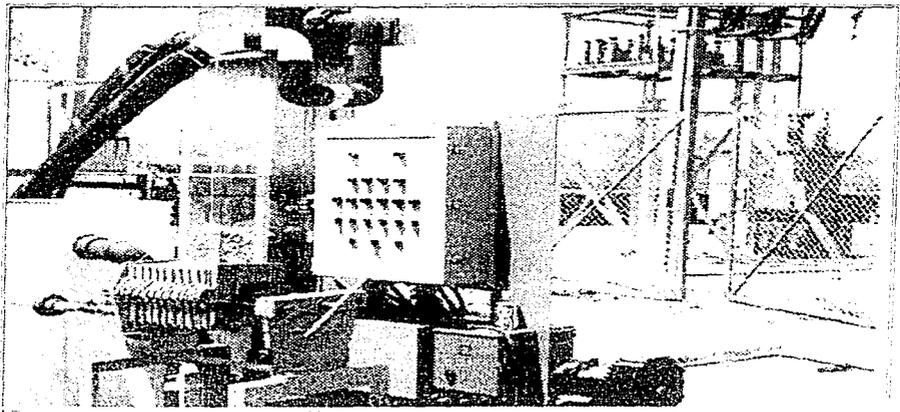


Fig. 19 Tablero de control.

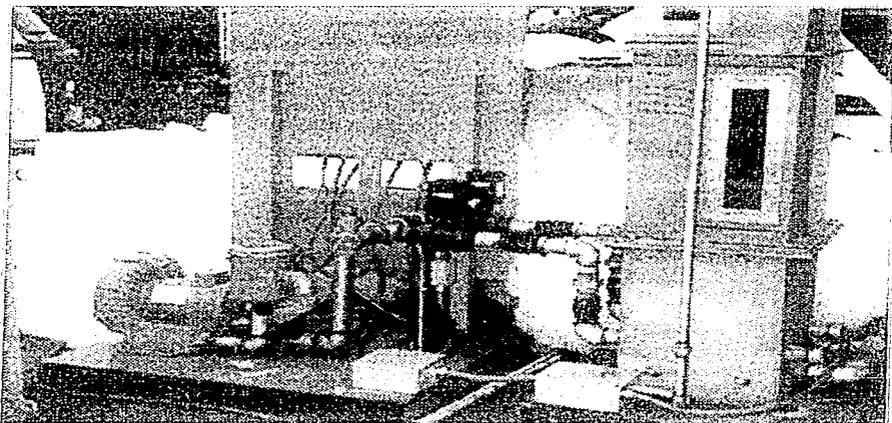


Fig. 20 Compresor para lavado.

2.3.2.2 Material de construcción.

Durante la operación del *fuzzy filter* se varió el material de construcción de la carcaza: en un principio el material fue acrílico y durante la etapa final la carcaza fue metálica.

2.3.2.2.1 Material de empaque.

El medio sintético del filtro tiene una forma esférica con un diámetro de aproximadamente 30 mm (1.25 pulg). El medio filtrante presenta algunas características poco usuales: alta porosidad y compresibilidad. Estas dos características lo hacen único y al mismo tiempo presenta grandes ventajas sobre tecnologías de filtración existentes que emplean medios sólidos (Fig. 21). Basados en las pruebas realizadas (Tchobanoglous, 1996), la porosidad del material alcanza valores entre un 88 y 90%. La porosidad de una cama filtrante sin compresión puede alcanzar valores entre un 92 y 94%. La densidad del medio es significativamente menor que la del agua.

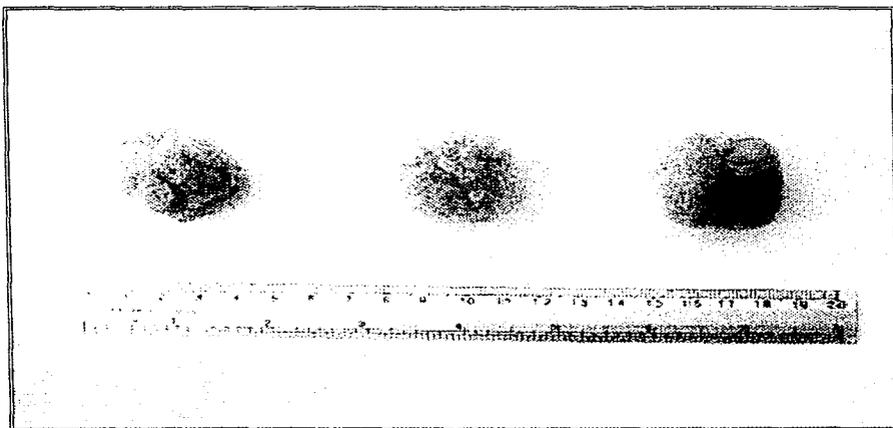


Fig. 21 Material de empaque.

2.3.2.3 Funcionamiento.

Como se mencionó anteriormente el funcionamiento del filtro es mediante flujo ascendente a presión (Fig. 22 y 23). Para la etapa de filtración, la placa metálica superior controlada mediante un vástago con desplazamiento vertical produce los diversos porcentajes de compresión en función de la calidad deseada en el efluente. La Tabla 17 presenta las características de operación.

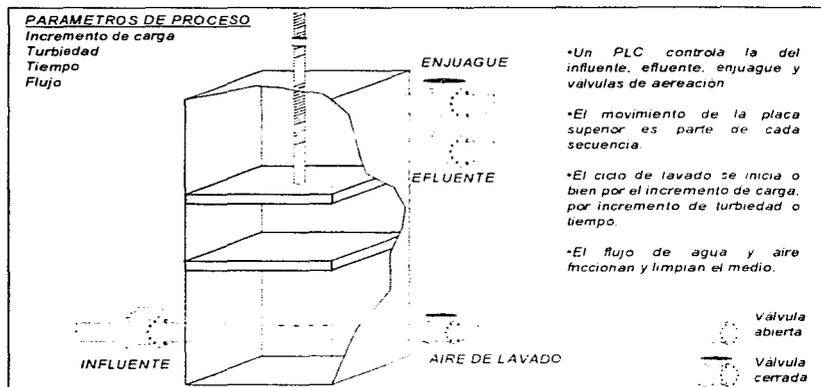


Fig. 22 Diagrama de operación.

Tabla 17 Características constructivas del fuzzy filter.

Dimensiones, m	0.40 x 0.40						
Sección transversal, m ²	0.21						
Gasto de operación	<table border="0"> <tr> <td> mínimo</td> <td>87.2</td> </tr> <tr> <td> medio</td> <td>118.9</td> </tr> <tr> <td> máximo</td> <td>147.9</td> </tr> </table>	mínimo	87.2	medio	118.9	máximo	147.9
mínimo	87.2						
medio	118.9						
máximo	147.9						
% de compresión	0 a 40						
Espesor del medio sin compresión, m.	0.76						
Gasto de lavado, lpm	2.91						

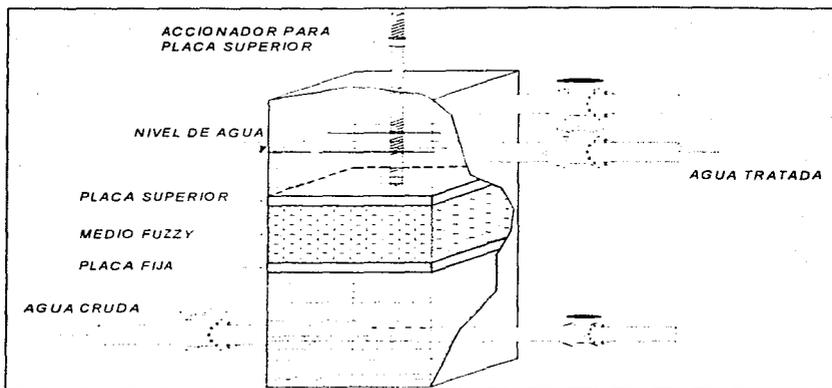


Fig. 23 Proceso de filtración.

Una vez que el tanque de regulación se encontraba completamente lleno, la bomba de alimentación se ponía en marcha para suministrar el gasto deseado. Después de su paso a través del material filtrante, el agua salía por la parte superior de filtro y se conducía hasta el sistema de desinfección.

2.3.2.4 Control de operación.

El ciclo de filtrado se puede controlar de manera manual o automática; es decir, el sistema automático se detiene cuando la presión dentro del filtro alcanza los 5.0 mca para el caso de la carcasa metálica, mientras que con la carcasa de acrílico la presión máxima es de 3.4 mca.

En la etapa de lavado, como primer paso se libera el material filtrante de la compresión ejercida mediante la elevación del vástago (Fig. 24). El lavado se inicia con la inyección de agua seguida por la introducción de aire a presión en diferentes posiciones desde el fondo, lo cual genera turbulencia en diferentes sentidos. La duración de todo el proceso de lavado es de 30 min. Como nota importante, es preciso señalar que durante el lavado se emplea agua sin filtrar; es decir, agua del TPA.

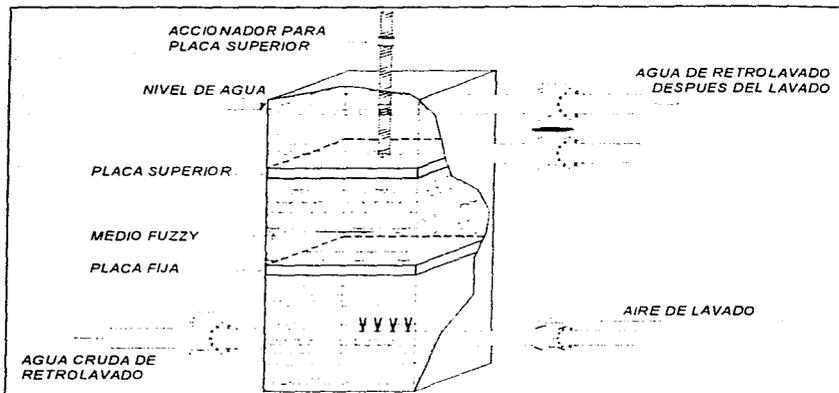


Fig. 24 Diagrama de lavado.

2.3.2.5 Parámetros de control.

Los parámetros con los cuales se llevó a cabo el seguimiento del *fuzzy*, son los mismos que se emplearon en el filtro de arena, más el monitoreo de la presión interior del filtro mediante un manómetro y la lectura de la compresión del material filtrante.

CAPITULO 3

3. RESULTADOS.

La generación de resultados para el sistema de filtración, estuvo comprendida dentro de dos etapas de operación de la planta piloto. La primera etapa abarcó del 18 de abril al 7 de junio de 1996, mientras que la segunda etapa fue del 10 de junio al 8 de agosto.

3.1 FILTRO DE ARENA.

La principal característica de la primera etapa fue fundamentalmente un funcionamiento deficiente de la etapa de tratamiento fisicoquímico, con bajas remociones (del orden de 37 al 63%) y constantes caídas del sistema, lo que generó duraciones de carrera inferiores a 15 h cuando la tasa fue de 10 m/h, cuando en la filtración las duraciones esperadas eran de aproximadamente 25 h.

Otro de los aspectos importantes en esta etapa, fue el hecho de que tanto el monitoreo del TPA como el seguimiento del filtro se realizaba únicamente durante 10 h al día; teniendo un completo desconocimiento del funcionamiento durante la noche de ambos procesos. La Tabla 18 muestra los principales resultados obtenidos durante esta fase y que fueron omitidos del análisis posterior. A pesar de ello, los resultados se encuentran en el ANEXO A.

Tabla 18 Resultados filtro de arena (primera etapa).

Parametro	Influyente	Efluyente	% remoción
Turbiedad, UTN	52	56	
Color, Pt-Co	301	309	
SST, mg/L	46	27	58
Huevos de helmintos, org/L	1 04	0 76	17

3.1.1 Filtración

Todos de los resultados que a continuación se exponen para ambos filtros, corresponden a la segunda etapa de operación de la planta piloto.

3.1.1.1 Velocidades de filtración.

Se emplearon tres diferentes tasas de filtración: 10, 12 y 15 m/h con el fin de observar el comportamiento y flexibilidad del filtro. Las duraciones de carrera generadas fueron de 32, 21 y 21 h cuando las velocidades fueron de 10, 12 y 15 m/h respectivamente. La Tabla 19 presenta un resumen del comportamiento de las diversas carreras de filtración realizadas durante la segunda etapa de operación de la planta piloto. La totalidad de los resultados se encuentra en los ANEXOS B y C.

Tabla 19 Resumen del comportamiento del filtro.

No	DURACIÓN h	PÉRDIDA DE CARGA (cm)	VELOCIDAD m/h	VOL FIL m ³	SST PRIM mg/L	SST EFL mg/L	%AGUA LAVADO
1	41.25	138	10.00	27.25	23.53	15.59	1.41
2	37.67	160	10.00	24.88	32.08	28.62	1.55
3	14.25	140	10.00	9.41	16.60	7.00	4.00
4	36.00	150	10.00	23.78	20.18	11.65	
5	50.5	170	10.00	33.36	22.75	13.38	
6	40.25	85	10.00	26.59	22.63	12.63	
7	23	105	10.00	15.19	28.20	21.00	3.80
8	25.5	113	10.00	16.84	28.50	17.83	3.48
9	49.5	115	10.00	32.70	27.96	14.26	
10	27.5	115	10.00	18.16	23.73	11.64	
11	36.75	120	10.00	24.27	26.42	15.08	2.22
12	20.16	84	10.00	13.32	27.45	14.36	2.89
13	17.17	60	10.00	11.34	39.89	26.00	3.39
14	20	140	12.00	15.85	25.75	18.13	2.42
15	12.75	121	12.00	10.11	32.29	23.00	3.81
16	19.5	126	12.00	15.46	36.86	19.57	2.49
17	32.5	175	12.00	25.76	26.50	13.60	1.49
18	21.25	164	15.00	21.05	36.86	14.14	1.83
19	19	205	15.00	18.82	23.88	11.63	2.34
20	20	180	15.00	19.82	19.73	16.45	1.94
21	23	194	15.00	22.79	33.75	23.33	1.45

3.1.1.2 Duración de carrera.

Las duraciones de carrera generadas en esta investigación, guardan relación con los resultados reportados por Jiménez y Landa, 1996. Los resultados que aquí se obtuvieron aparecen dentro de la Fig. 25, con la cual es posible estimar el tiempo de duración en función de una tasa deseada.

3.1.1.3. Pérdida de carga.

Siguiendo las recomendaciones de diversos autores en lo referente a la pérdida de carga admisible para la operación de un filtro piloto (Landa *et al.*, 1996); este filtro se construyó para trabajar con una pérdida máxima de 2.0 mca. Dicho valor en muy pocas ocasiones se alcanzó, ya que la operación del filtro no estuvo regida por este parámetro. En efecto, el principal control se llevó a cabo mediante la evaluación de la calidad del efluente en función de los sólidos suspendidos. Las Fig. 26, 27 y 28 muestran el comportamiento del filtro para cada una de las tres diferentes tasas empleadas. Graficando Δp vs. Tiempo, se observa para cada corrida de filtración la pérdida de carga final.

Fig. 25 Velocidad vs Duración (2ª Etapa).

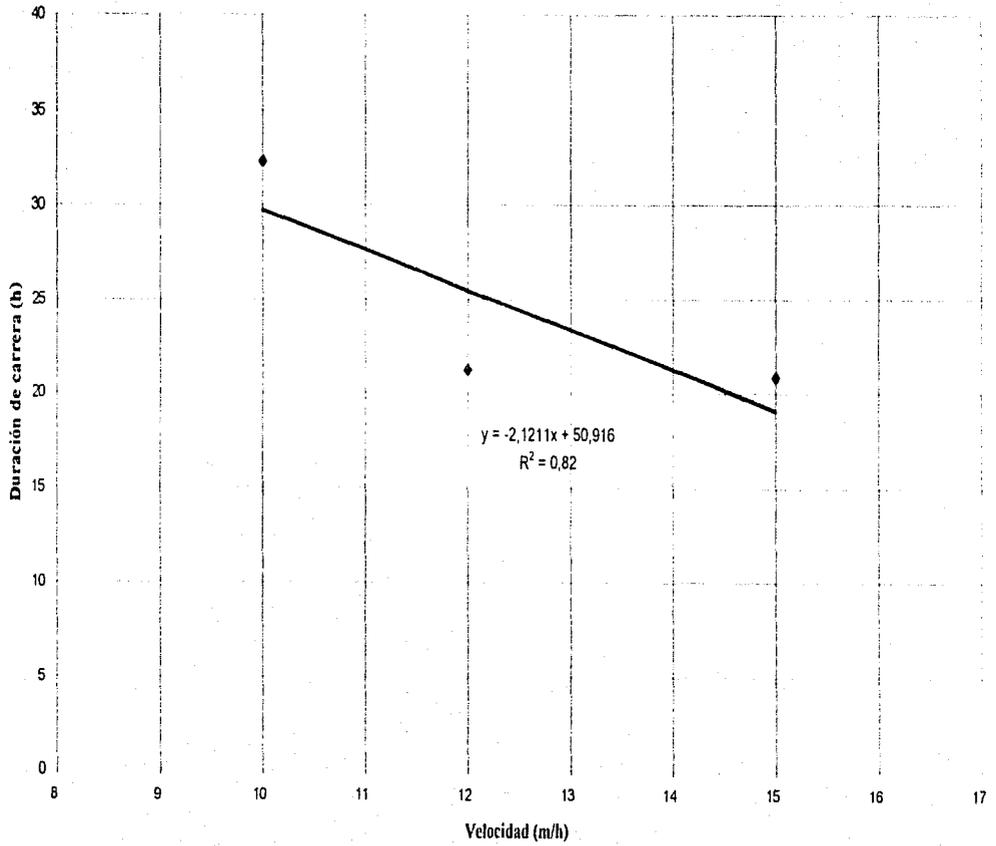


Fig. 26 Pérdida de carga (10 m/h) (2ª Etapa).

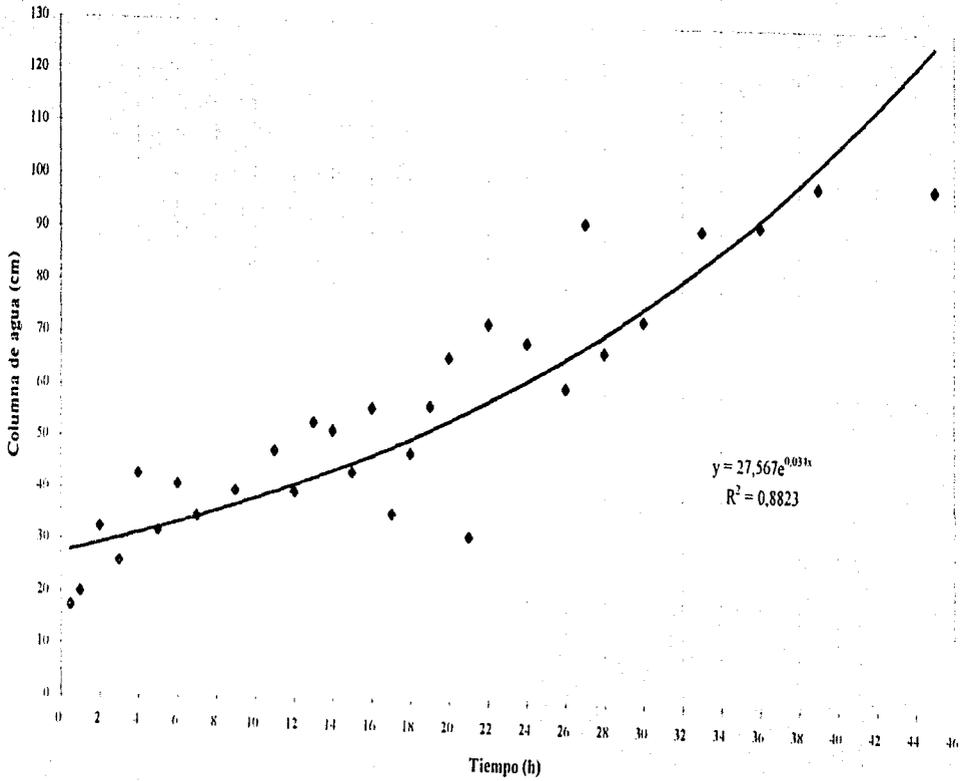


Fig. 27 Pérdida de carga (12 m/h) (2ª Etapa).

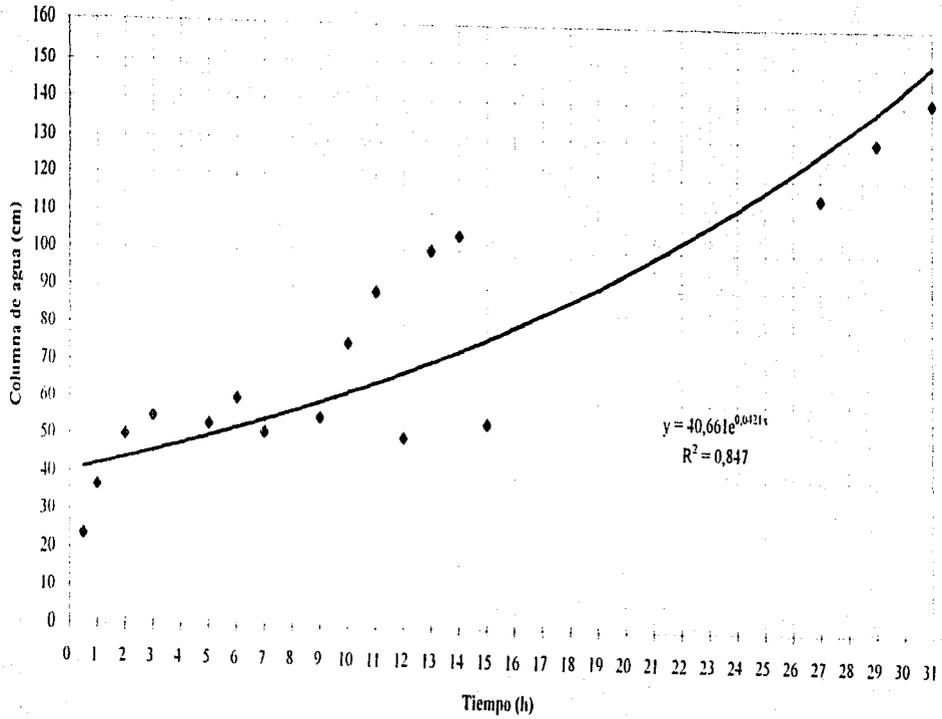
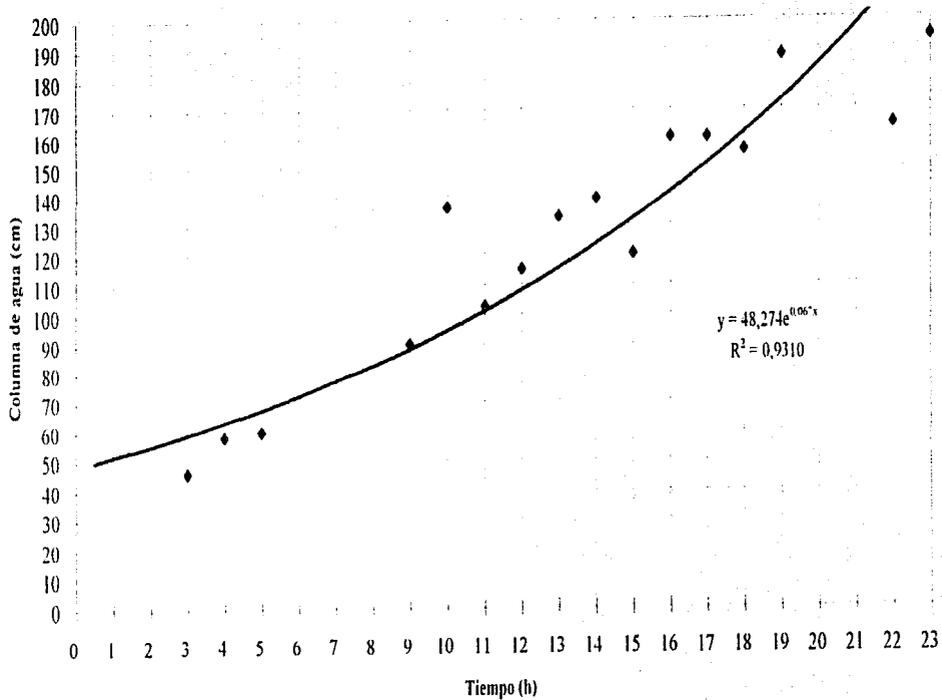


Fig. 28 Pérdida de carga (15 m/h) (2ª Etapa).



3.1.1.4 Sólidos suspendidos.

Con concentraciones de SST en el influente que variaron entre 9 y 150 mg/L, el filtro presentó en su efluente concentraciones entre los 6 y 92 mg/L. Los menores valores de sólidos a la salida del filtro se presentaron cuando la velocidad de operación fue de 10 y 15 m/h, sin embargo la diferencia que existió con la velocidad de 12 m/h es mínima, de tan sólo de 3 mg/L. Lo anterior concuerda con lo citado en la literatura, en cuanto a que la remoción de sólidos es prácticamente independiente de la velocidad de operación (Fig. 29). Por otra parte, en la Fig. 30 se muestra que la mejor remoción se presentó para la velocidad de 15 m/h. Dicho efecto se debe a que a mayor velocidad se tiene una mayor fuerza de empuje, reflejada por una mayor penetración y atrapamiento de los sólidos. Este fenómeno puede observarse a detalle en la Fig. 31, donde se muestra que el mayor volumen de sólidos atrapados se consiguió con la velocidad más alta.

3.1.1.5 Turbiedad.

En lo que respecta a los valores de turbiedad registrados a la salida del filtro, el menor promedio registrado de 38 UTN corresponde a la velocidad de 10 m/h, siendo el mayor valor promedio de 54 UTN para la velocidad de 12 m/h. Éste se muestra en la Fig. 32, la cual ilustra tanto los valores de influente como del efluente. En cuanto a las remociones registradas (Fig. 33); la tasa de 15 m/h presentó la menor remoción, de tan sólo 5,58%, dicho efecto fue ocasionado por la ruptura del floc debido al choque con el medio filtrante.

3.1.1.6 Color.

En la Fig. 34 se muestra que la remoción de color estuvo afectada en la misma forma que la turbiedad: es decir, mientras que para las velocidades tanto de 10 m/h como de 12 m/h la diferencia es de sólo 3%, con la velocidad de 15 m/h no se consiguió remover color. Esta situación se presentó de igual manera en los trabajos previos de Landa 1996.

3.1.1.7 Carga orgánica.

La Fig. 35 muestra los valores promedio de DQOt evaluados tanto en el influente como en el efluente. En lo referente a los valores promedio del influente, estos estuvieron comprendidos entre 200 y 226 mg/L, mientras que para el efluente el intervalo fue de 168 a 212 mg/L. Por otra parte, las concentraciones de DQOs (Fig. 36) en el influente fueron del orden de 168 a 175 mg/L, y para el efluente se presentaron concentraciones entre 153 y 165 mg/L.

De la Fig. 35 se observa que la máxima remoción de DQOt correspondió para la velocidad de 15 m/h, con un valor aproximado de 16%; mientras que tanto para las

Fig. 29 Sólidos suspendidos (2ª Etapa).

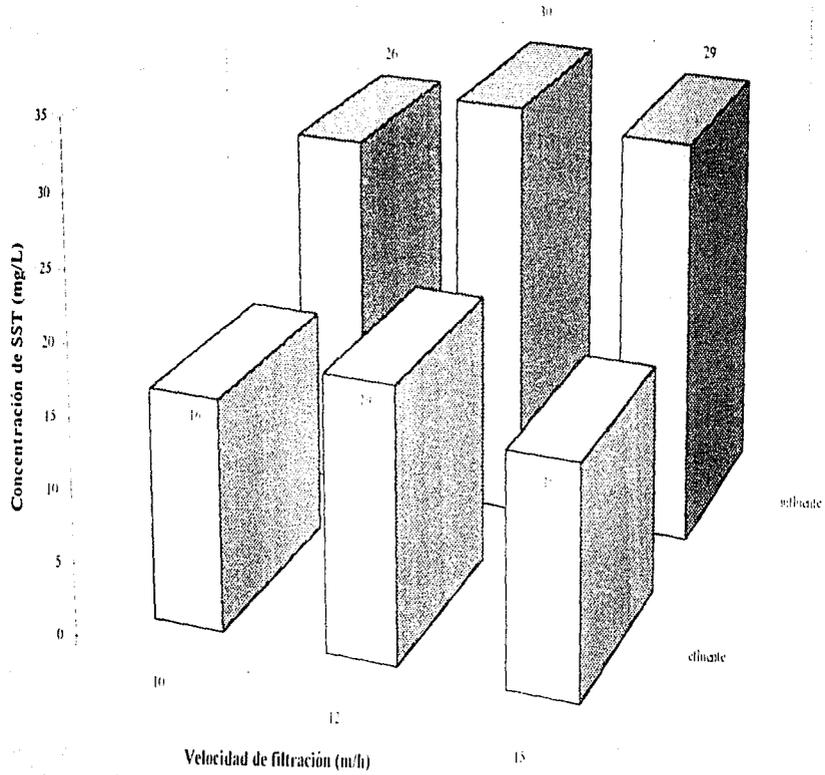


Fig. 30 Remoción de SST (2ª Etapa)

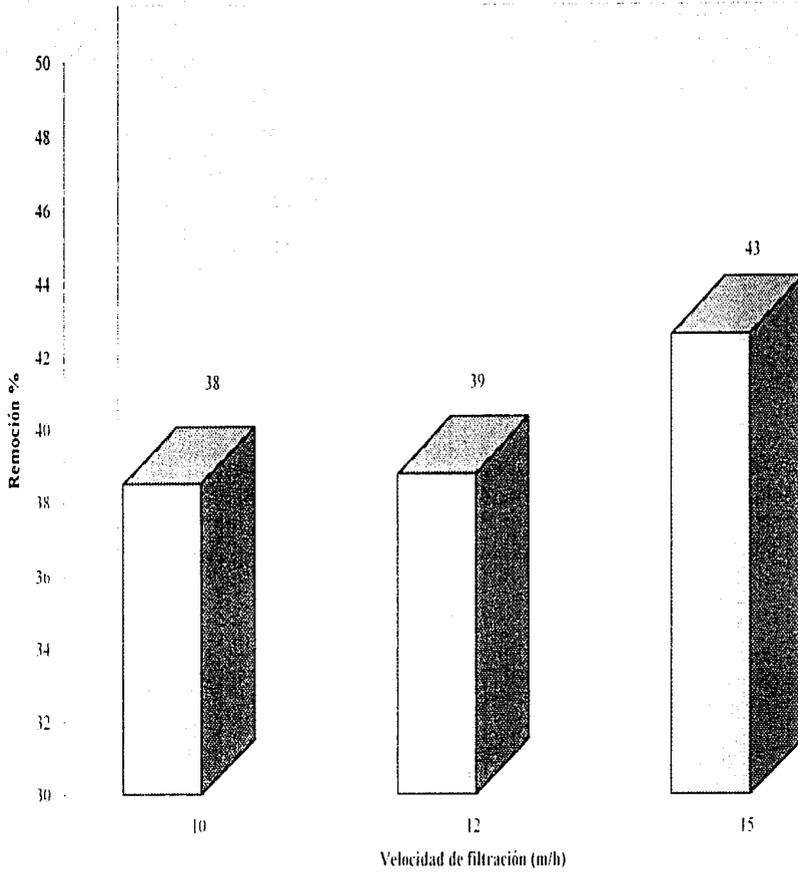


Fig. 31 SST Atrapados por m³/arena (2ª Etapa).

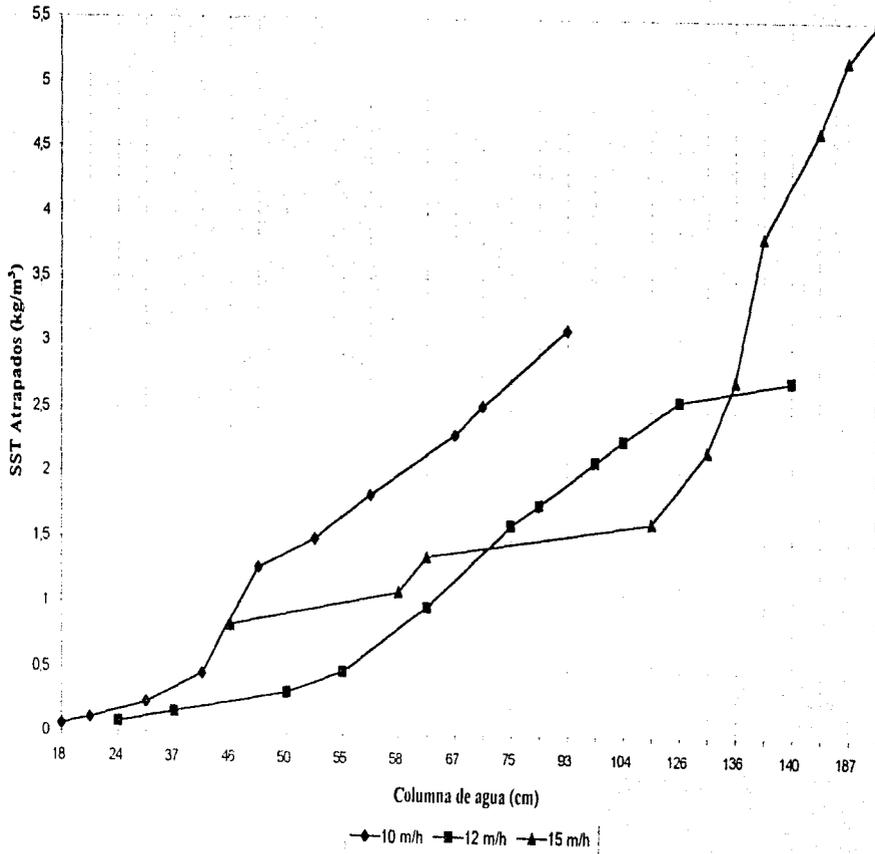


Fig. 32 Turbiedad (2ª Etapa).

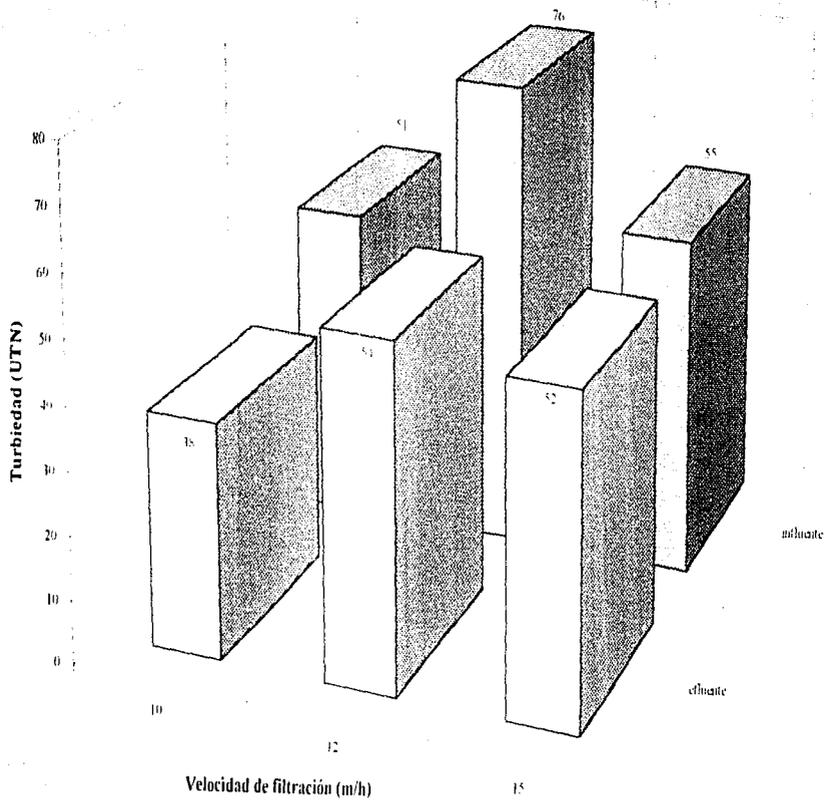


Fig. 33 Remoción de Turbiedad (2ª Etapa).

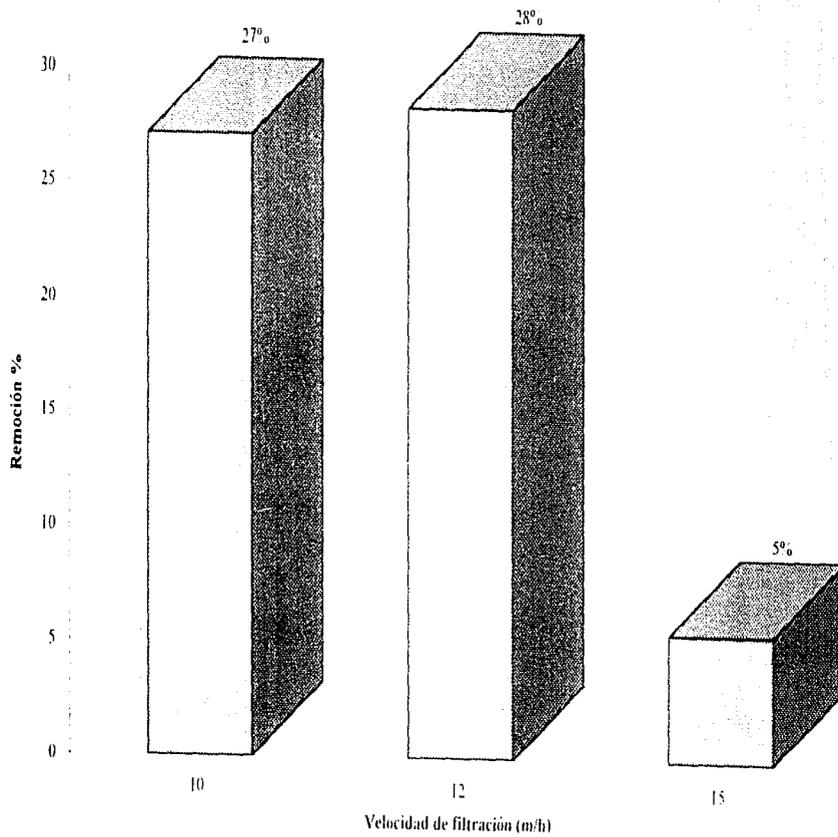


Fig. 34 Remoción de Color (2ª Etapa).

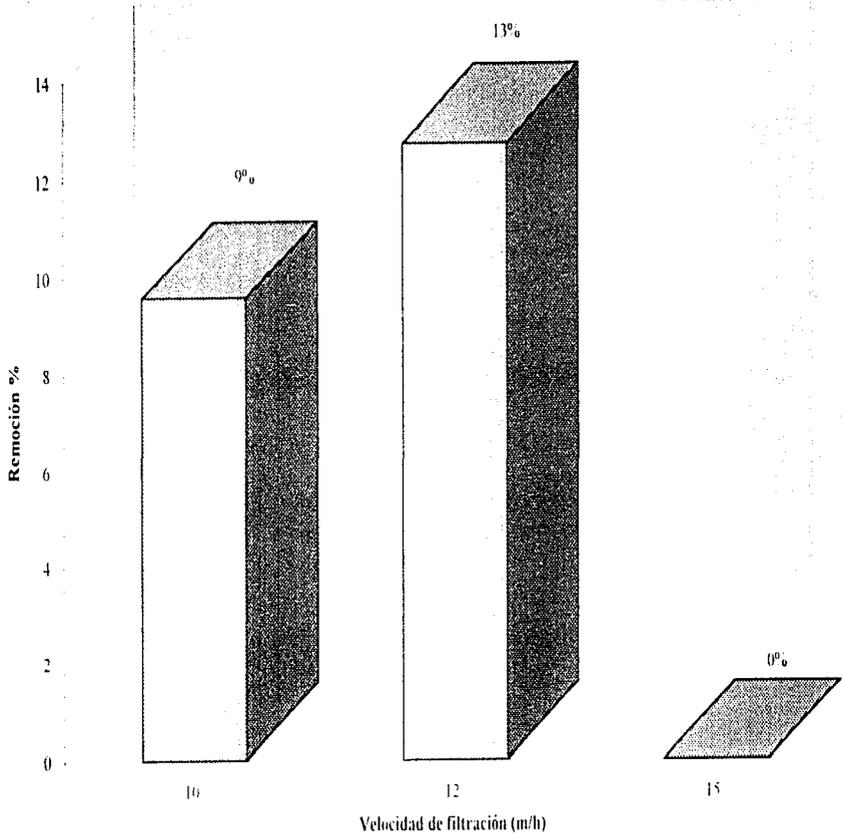


Fig. 35 Valores promedio de Carga Orgánica Total (DQO) (2ª Etapa).

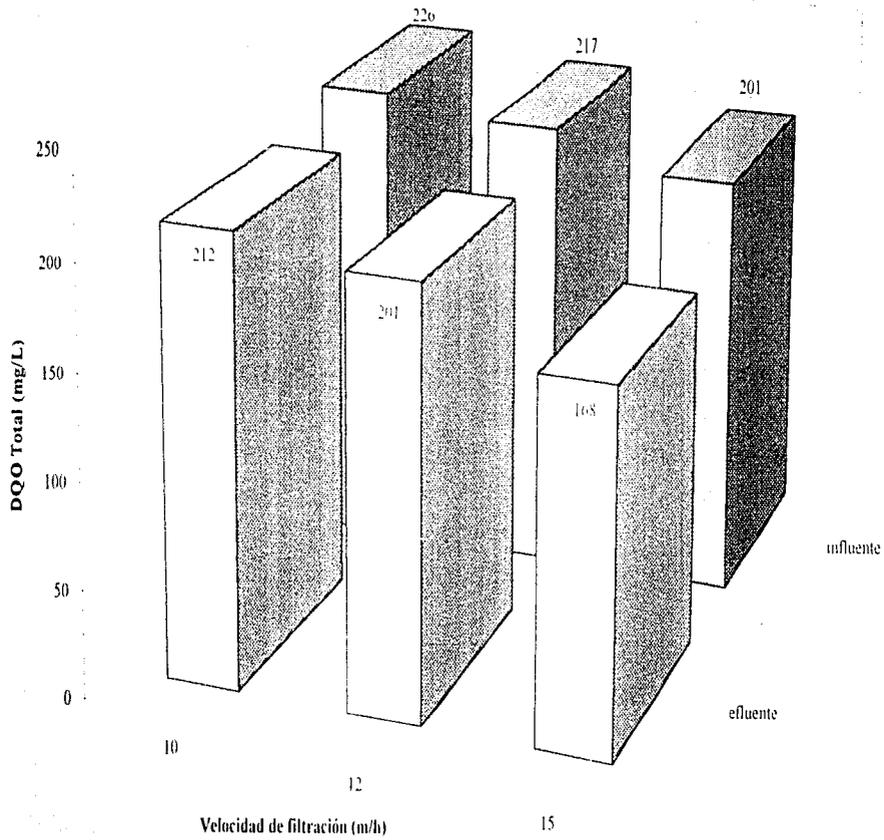
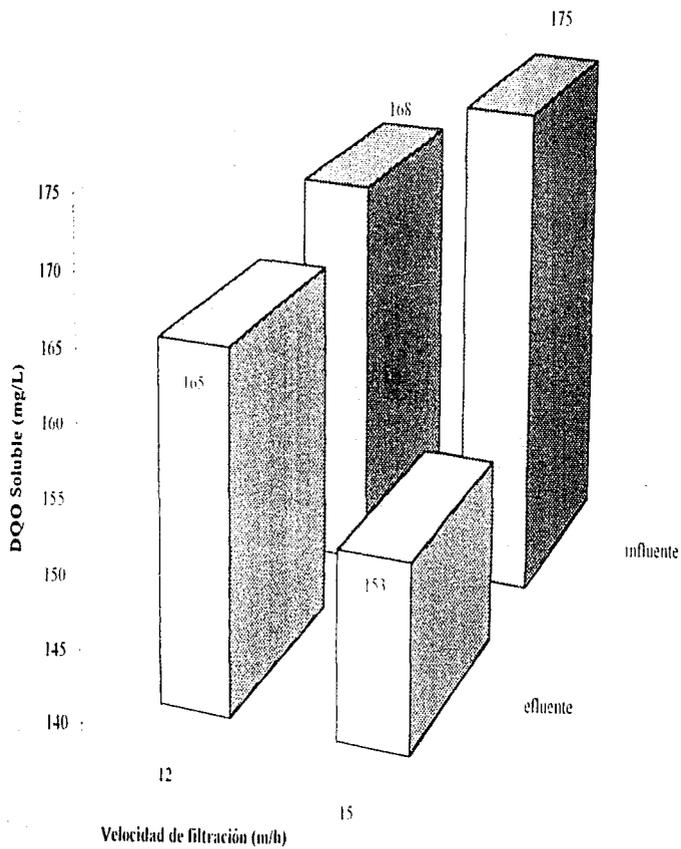


Fig. 36 Valores promedio de Carga Orgánica Soluble (DQOs) (2ª Etapa).



velocidades de 12 y 10 m/h, las remociones fueron del orden de 7 y 6%, respectivamente.

3.1.1.8 Huevos de helmintos.

Siendo los helmintos el principal parámetro de control, la Fig. 37 muestra claramente que la filtración rápida con arena los remueve eficientemente. De dicha figura se observa que todos y cada uno de los valores puntuales registrados a la salida del filtro se encuentran por debajo de los requerimientos de la NOM-001-ECOL/97. Las concentraciones que se registraron a la salida del filtro estuvieron comprendidas entre 0 y 0.8 org/L, mientras que el efluente tuvo concentraciones entre 0.4 y 2 org/L. Diferentes autores señalan que la remoción de sólidos no guarda relación con la velocidad empleada, de la misma forma la Fig. 38 muestra las concentraciones tanto del influente como del efluente, en donde se observa que para cada una de las velocidades (10, 12 y 15 m/h) las concentraciones de helmintos tampoco guardan relación. La Tabla 20 presenta todas las lecturas registradas de helmintos durante el desarrollo del estudio

Tabla 20 Valores registrados de helmintos, filtro de arena

CORRIDA	HUEVOS DE HELMINTOS		REMOCION %
	PRIMARIO	FILTRO	
1ª ETAPA DE OPERACION			
9	1.3	0.4	69
15	0.6	0.2	66
16	0.2	0	100
20	0.8	0	100
2ª ETAPA DE OPERACION			
1	0.4	0	100
4	0.8	0.2	75
5	1	0	100
5	0.6	0	100
6	1	0.4	60
7	0.6	0	100
8	1.2	0	100
9	0.8	0.2	75
10	1.4	0	100
10	1	0.4	60
11	1.2	0.4	66
13	1.8	0	100
14	1.4	0.2	86
16	1.2	0	100
17	1.6	0	100
18	1.2	0.8	33
19	1.4	0.2	86
20	1.2	0.4	66
21	1.2	0	100
22	2	0	100

Fig. 37 Huevos de Helmitos (2ª Etapa).

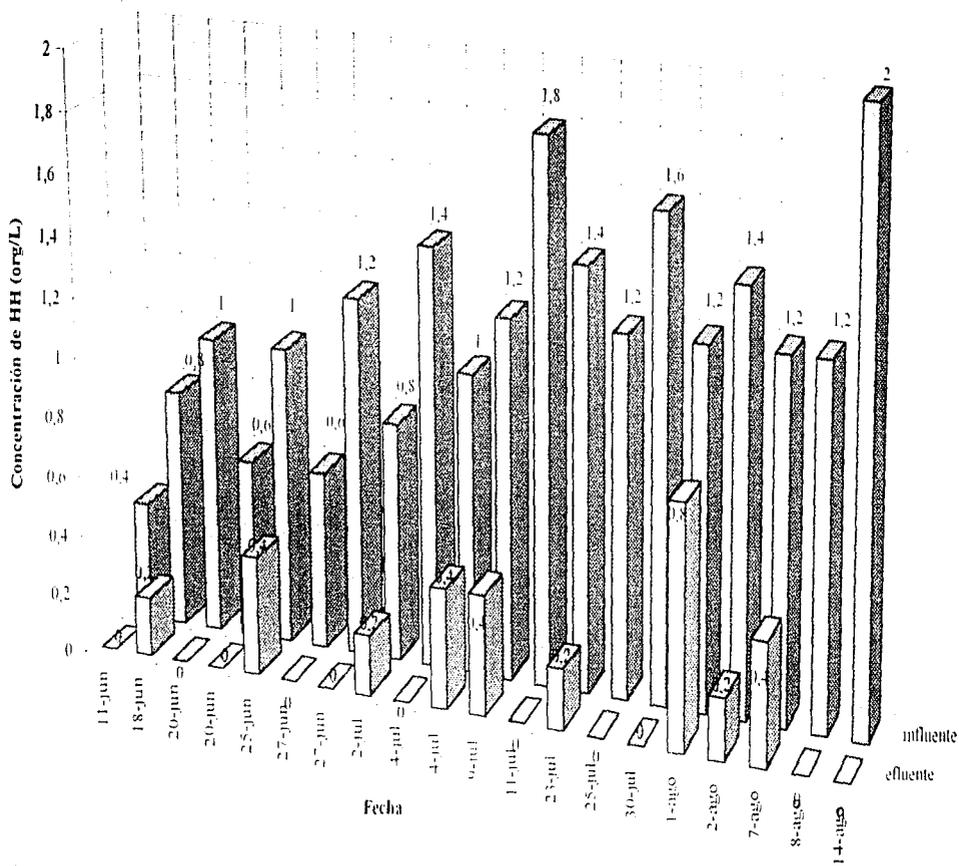
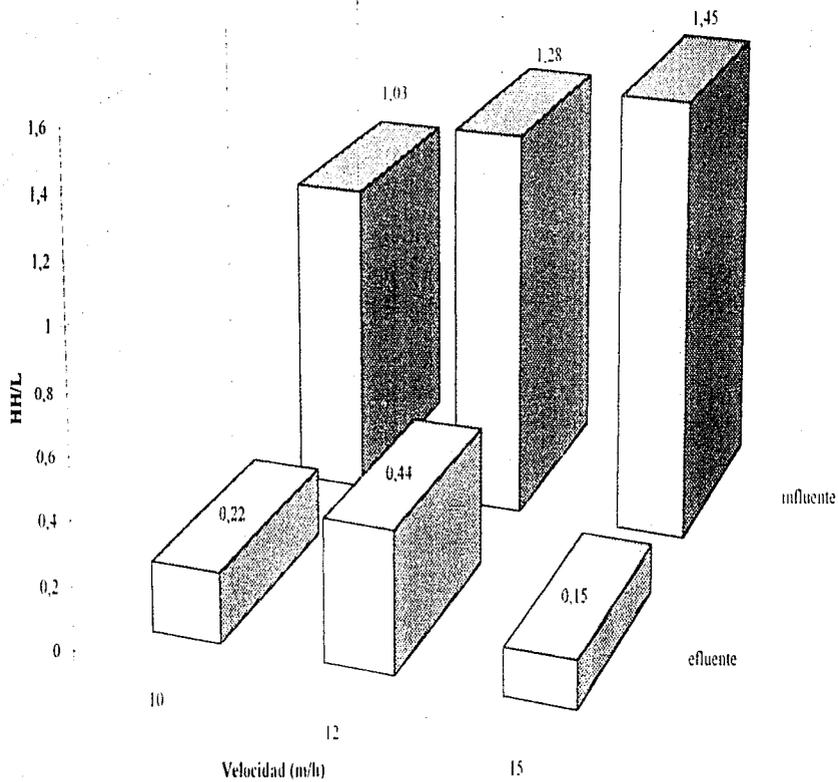


Fig. 38 Comportamiento promedio de HH (2ª Etapa).



3.1.2 Lavado.

3.1.2.1 Sistema de lavado.

El lavado se efectuaba cuando el filtro alcanzaba la pérdida de carga máxima o bien cuando la calidad del efluente era desfavorable. El proceso de lavado estaba basado en el suministro de agua en forma ascendente con el fin de lograr la expansión del medio, acompañado de la expulsión de los flocs. El sistema empleado era de la "Escuela Americana"; es decir, lavado únicamente con agua. La Tabla 21 muestra el procedimiento de lavado.

Tabla 21 Procedimiento de lavado

Ciclo	Velocidad	Duración
	m/h	min.
alto	125-155	1
bajo	100-125	1
enjuague	125-155	1

3.1.2.2 Velocidades de lavado.

Tomando como base la Tabla 21, las velocidades que se emplearon en los tres diferentes ciclos: alto, bajo y enjuague fueron de 125-155, 100-125 y 125-155 m/h, la generación de dichos valores estuvo sustentada en las recomendaciones de Jiménez *et al.*, 1995. Pero las condiciones tanto de operación de la planta como las características del influente, ocasionaron que se modificaran dichos criterios, incrementando las velocidades de lavado en un 150%.

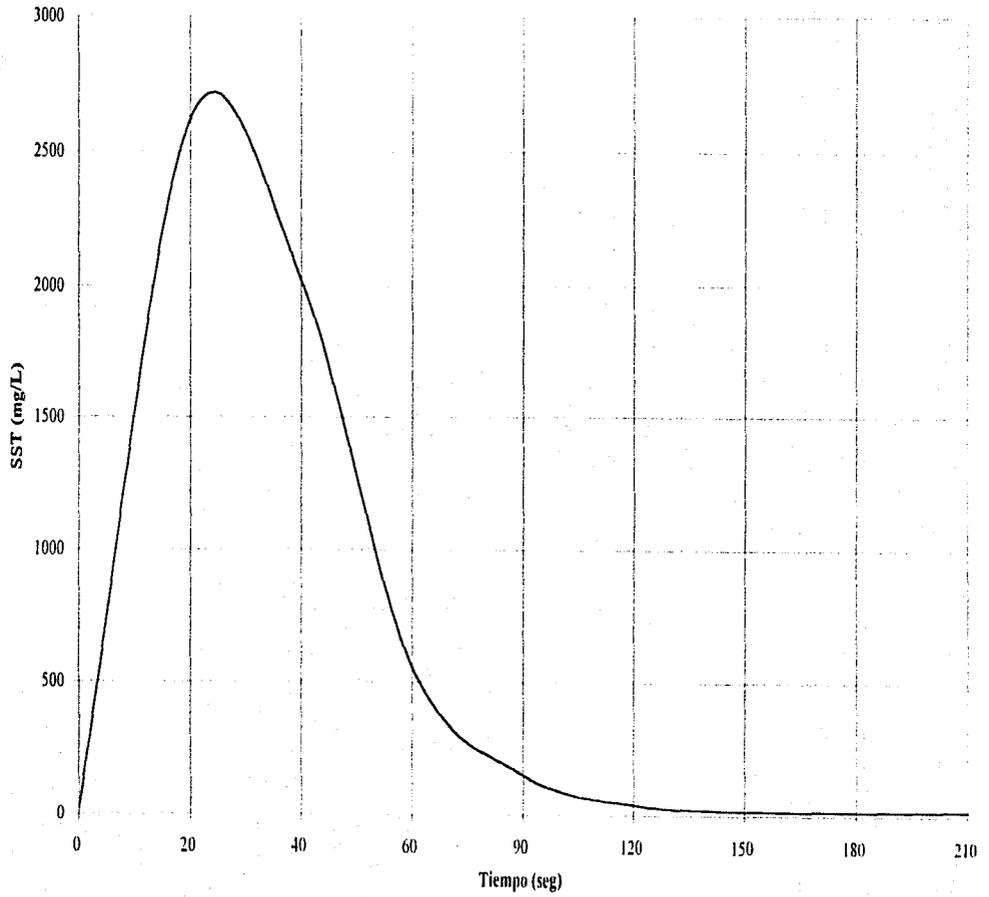
3.1.2.3 Duración de lavado.

El proceso de lavado requirió de un tiempo de ejecución muy corto; es decir, sólo se necesitó un minuto para el desarrollo de cada etapa. Con los criterios y tiempos de lavado expuestos se empleó un 2.54% del agua producida en el lavado. Dicho valor se encuentra dentro de las recomendaciones de diversos autores en cuanto al consumo de agua en lavado (Landa, 1996)

3.1.2.4 Sólidos suspendidos en agua de lavado.

Como se mencionó anteriormente, el tiempo aproximado de lavado fue de 3 min, únicamente. En la Fig. 39 se ilustra el comportamiento de los sólidos a través del tiempo; es decir, durante el tiempo cero de lavado la concentración alcanzaba valores del orden de 20 mg/L, la concentración pico de SST (2500-3000 mg/L) se presentó entre los 20 y 40 s a partir de los cuales decrece. Finalmente la

Fig. 39 Comportamiento de SST durante el lavado (2ª Etapa).



porción asintótica de la curva iniciaba después de los dos minutos. Lo anteriormente descrito se observa en la Fig. 39.

3.2 FUZZY FILTER.

3.2.1 Filtración

3.2.1.1 Velocidades de filtración.

Siendo el *fuzzy* un filtro de tasa declinante, no se pueden reportar velocidades constantes de operación. La Fig. 40 muestra la evolución de la velocidad a lo largo del ciclo de operación, se inició la tasa alta (90-120 m/h), y decrecía a medida que la presión dentro de la carcasa aumentaba debido al incremento de los sólidos atrapados. Del intervalo de 90 a 120 m/h al inicio de la carrera, el filtro terminaba su ciclo con una velocidad de aproximadamente 30 m/h para una presión de 1 kg/cm². Lo mencionado anteriormente queda perfectamente ilustrado con la Fig. 41, en la cual se observa el decremento de la velocidad en función del tiempo de carrera.

3.2.1.2 Duración de carrera.

Continuando con el análisis de la Fig. 41, la duración promedio de carrera fue inferior a las 12 h (20% de compresión) cuando la velocidad inicial de operación fue de 120 m/h. Bajo estas condiciones se buscó obtener el máximo rendimiento del sistema. De la misma Fig. 41 se observa lo que ya se había comentado anteriormente, a medida que transcurría el tiempo, la tasa decrecía.

Por otra parte, dentro de la Fig. 42 se presentan las duraciones promedio con los dos únicos valores de compresión que se pudo trabajar debido a las deficiencias constructivas del equipo piloto (la longitud del vástago resultó insuficiente para proporcionar las compresiones deseadas). Así con solo un 3% de diferencia en cuanto a la compresión, los tiempos promedio de carrera presentaron una discrepancia de 1.6 h; es decir, para el 20% de compresión la duración fue de 9.9 h.

Una ventaja que presenta el *fuzzy*, radica que a diferencia de los sistemas tradicionales de filtración, éste no requiere tiempo de maduración. Pues, casi de manera inmediata es capaz de generar un efluente que cumpla los requerimientos necesarios en una concentración baja de sólidos en el efluente.

3.2.1.3. Pérdida de carga.

El desarrollo de la pérdida de carga dentro del *fuzzy*, está reflejada por la presión de trabajo en la carcasa. Con la ayuda de un manómetro colocado en la carcasa, se

Fig. 40 Comportamiento de la Velocidad en función de la Presión (2ª Etapa).

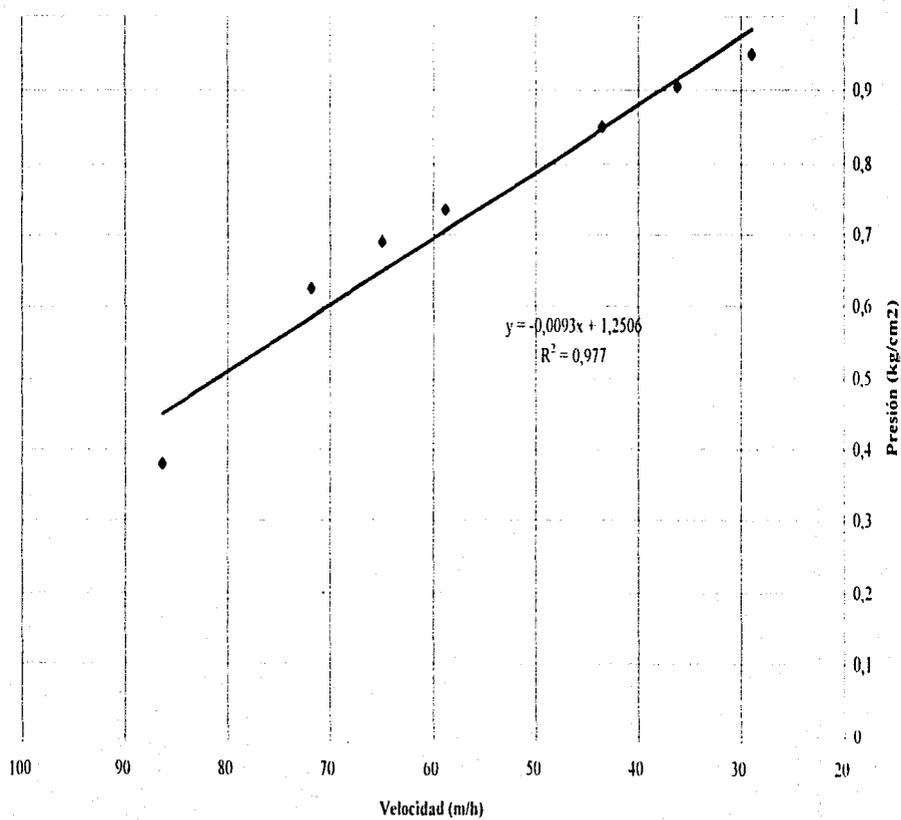


Fig. 41 Comportamiento de la Velocidad en función del Tiempo (2ª Etapa).

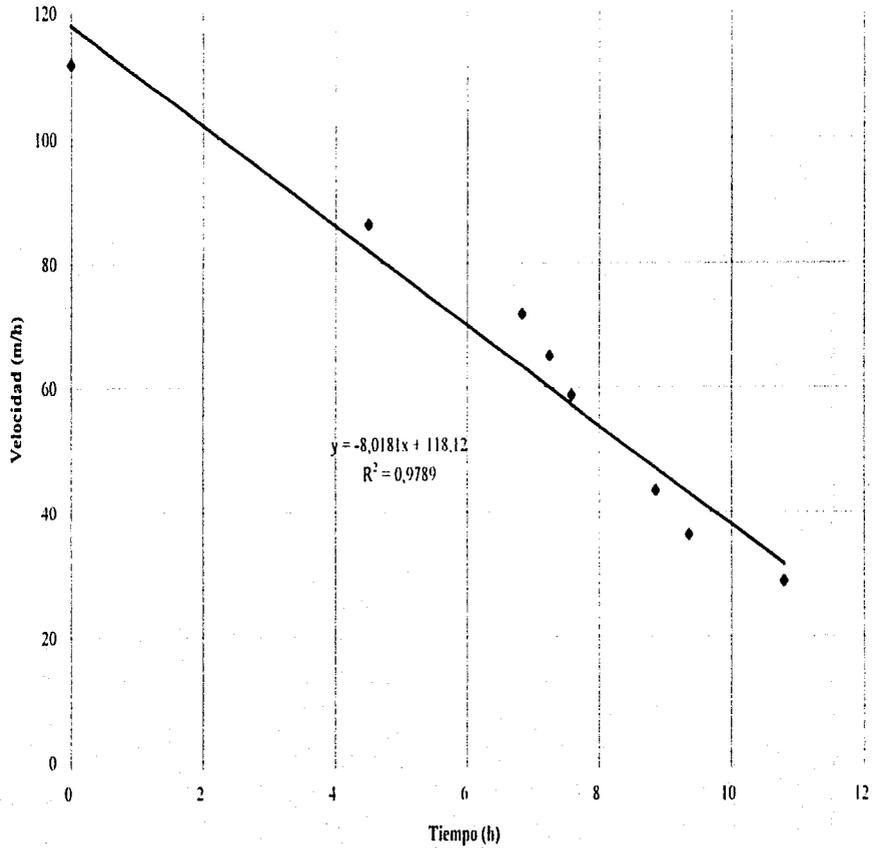
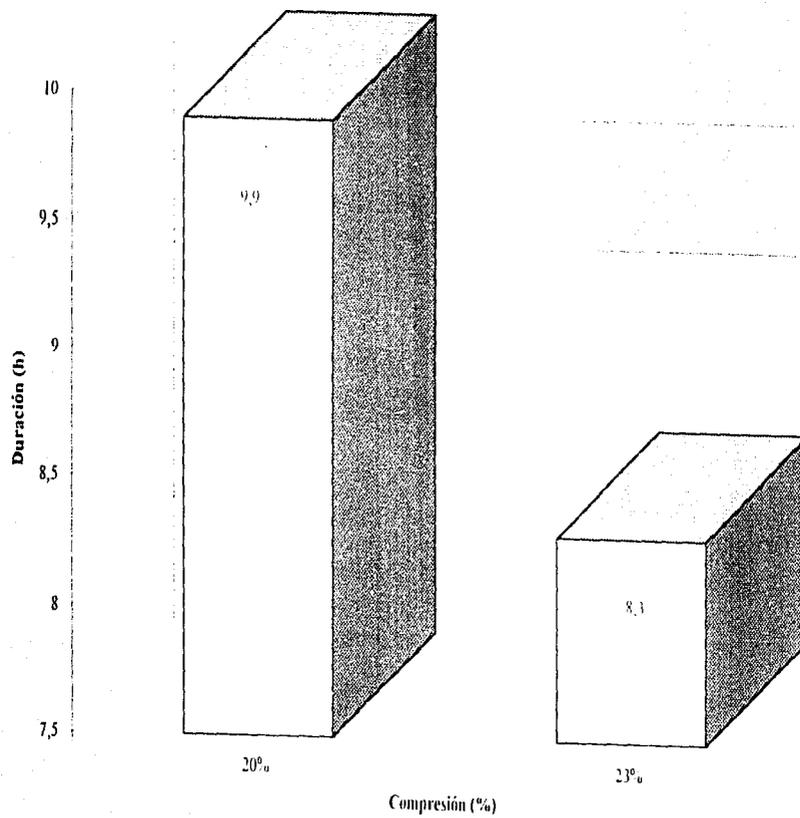


Fig. 42 Duración de carrera en función de la compresión (2ª Etapa).



registraron las variaciones de presión a lo largo del proceso de filtración. El intervalo de lectura registrado estuvo comprendido entre 0.3 kg/cm² al inicio, hasta 1 kg/cm² al finalizar la carrera. Tanto la Fig. 40 como la Fig. 43 muestran el comportamiento de la presión.

3.2.1.4 Sólidos suspendidos.

Las concentraciones promedio de SST tanto en el influente como en el efluente, se mantuvieron constantes; es decir, se registraron 35 mg/L a la entrada contra 20 mg/L cuando la compresión fue del 20%. Por otra parte, cuando la compresión fue del 23% la concentración promedio de SST a la salida fue también de 20 mg/L. La Fig. 44 muestra lo descrito anteriormente y la Fig. 45 presenta los valores de remoción para cada compresión.

3.2.1.5 Turbiedad .

Las turbiedades correspondientes para la compresión del 20% tanto en el influente como en el efluente fueron de 44 y 52 UTN respectivamente, mientras que para la compresión del 23.5 % los valores registrados fueron de 63 UTN en el influente y 96 UTN para el efluente. Con lo mostrado en la Fig. 46, se observa que lejos de remover turbiedad el *fuzzy* la incrementa, fenómeno ocasionado por la ruptura del floculo a través de su paso por el medio sintético.

3.2.1.6 Color.

Al igual que lo que sucedió con la turbiedad, el *fuzzy* tampoco es capaz de remover color, debido a las características del agua. Pero considerando que el destino final del efluente es el riego agrícola, este aspecto es poco relevante. De la Fig. 47 se puede observar el incremento del color después del *fuzzy*.

3.2.1.7 Huevos de helmintos.

El *fuzzy* cumplió de igual manera con los requerimientos necesarios en cuanto a la remoción de helmintos. De la Fig. 48 se observa que las concentraciones puntuales registradas a la entrada estuvieron comprendidas entre 0.6 y 2 org/L. Mientras que para la salida las lecturas estuvieron entre 0 y 1 org/L. Con una compresión de 20%, los resultados generados en cuanto a la concentración de helmintos son adecuados para cumplir con la normatividad. Dentro de la Tabla 22 se presentan las lecturas registradas para este filtro.

Fig. 43 Comportamiento de la Presión con respecto al Tiempo (2ª Etapa).

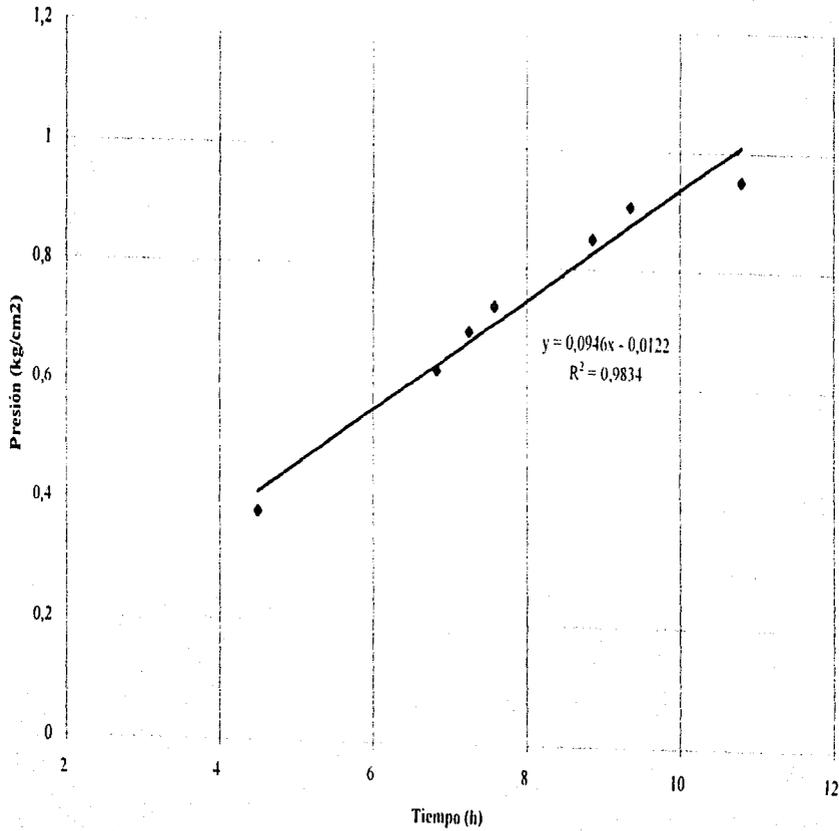


Fig. 44 Sólidos Suspendidos (2ª Etapa).

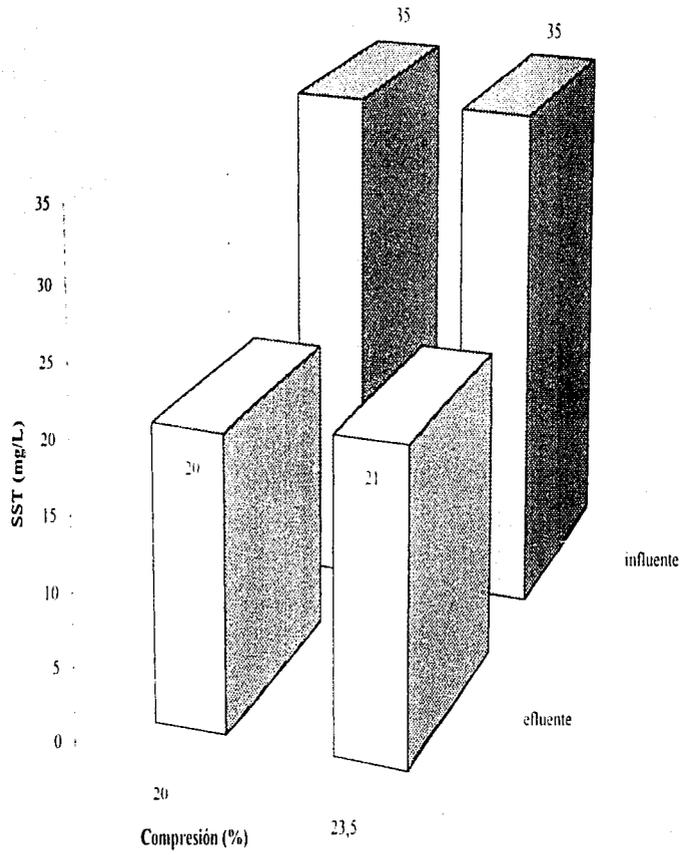


Fig. 45 Remoción de SST (2ª Etapa).

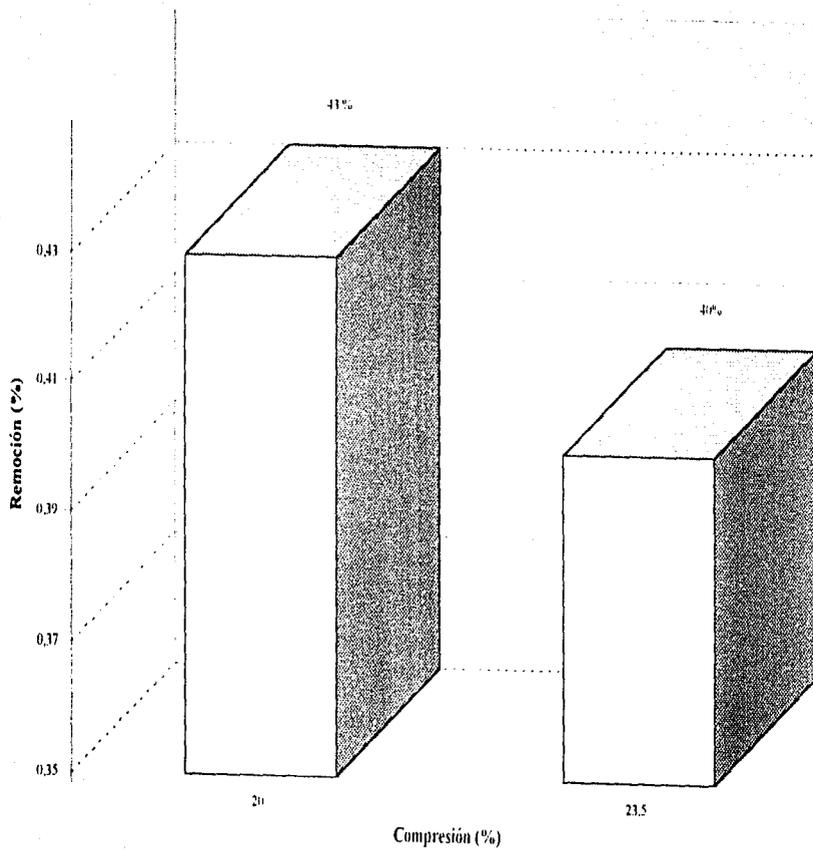


Fig. 46 Turbiedad (2ª Etapa)

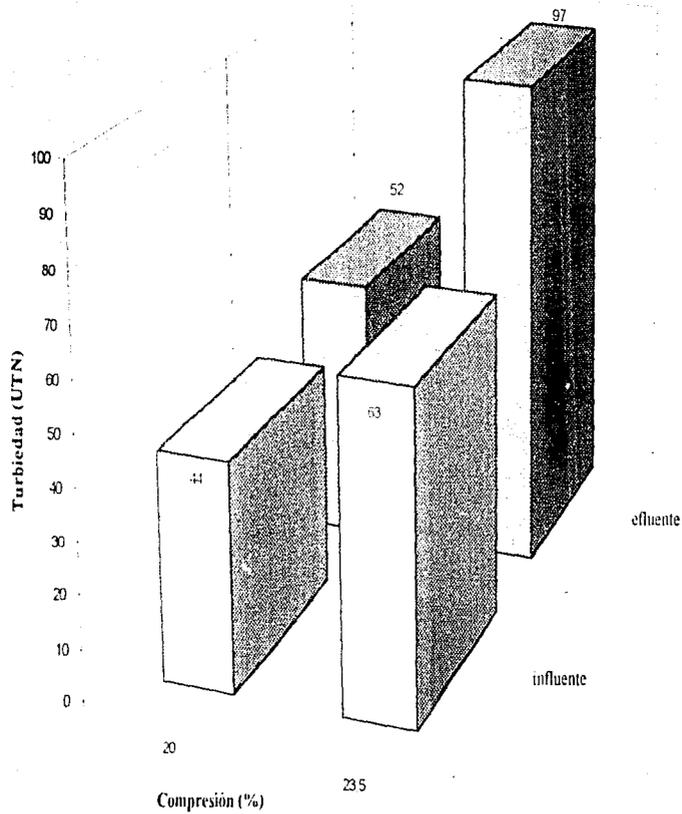


Fig. 47 Valores promedio de Color (2ª Etapa).

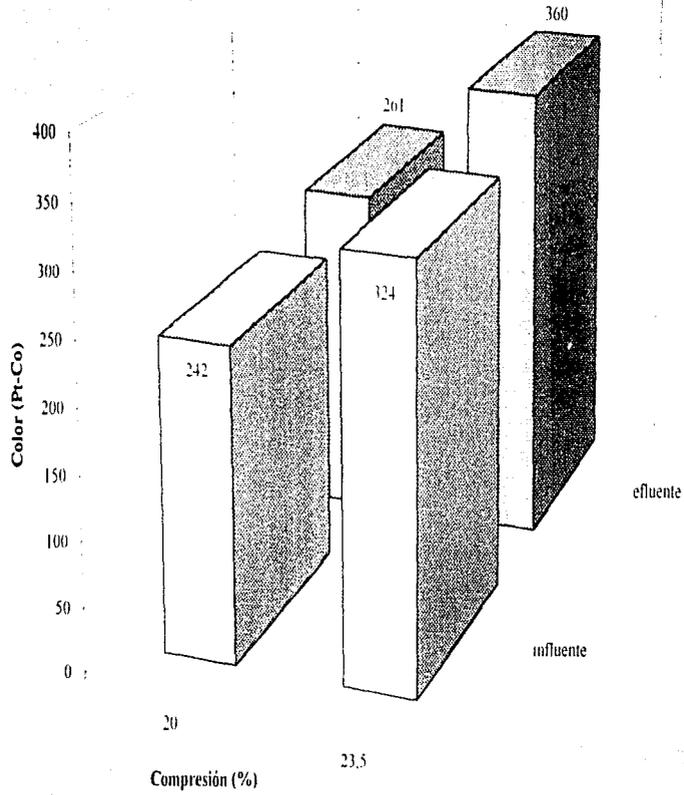
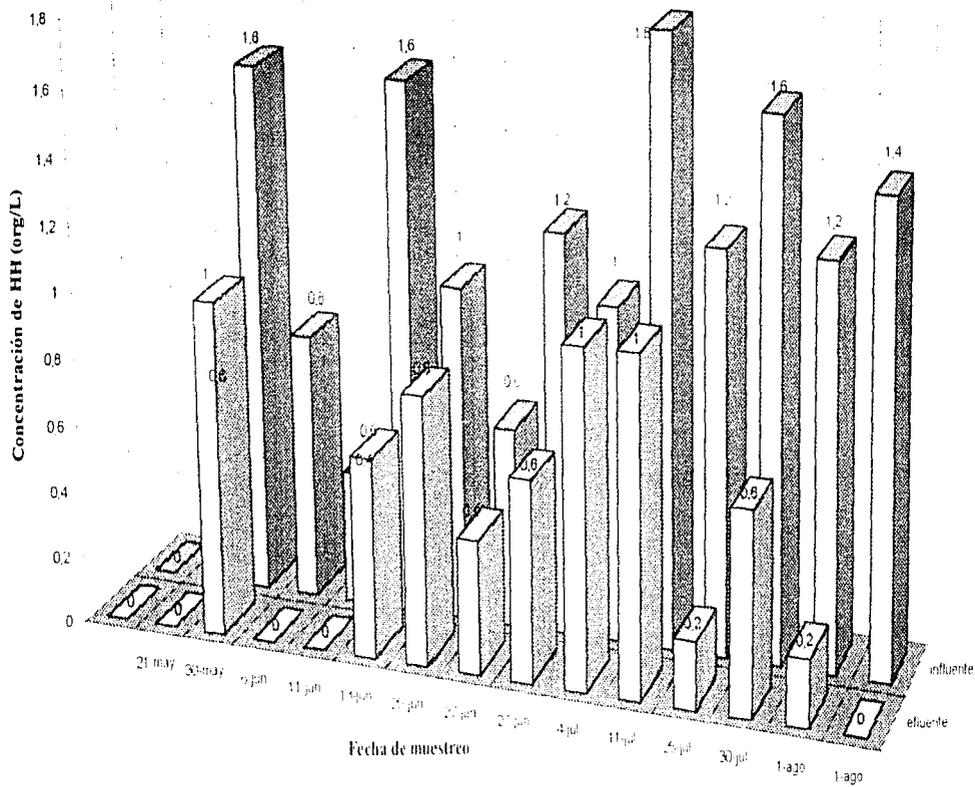


Fig. 48 Relación de huevos de helmintos (2ª Etapa).



3.2.2 Lavado.

3.2.2.1 Sistema de lavado.

Mientras que el filtro de arena utiliza la "Escuela Americana", el proceso de lavado del *fuzzy* está fundamentado en la "Escuela Europea": es decir, lavado con agua y aire en combinación.

Tabla 22 Valores registrados de helmintos: *Fuzzy*.

CORRIDA	HUEVOS DE HELMINTOS		REMOCIÓN %
	PRIMARIO	FUZZY	
7	0.6	0	100
12	1.6	1	38
14	0.8	0	100
16	0.4	0	100
18	1.6	0.6	62
24	1	0.8	20
26	0.6	0.4	33
27	1.2	0.6	50
35	1	1	0
40	1.8	1	44
47	1.2	0.2	83
50	1.6	0.6	62
52	1.2	0.2	83
53	1.4	0	100
54	1.4	0.6	57
55	1.2	0	100
56	2	0.4	80

Por tratarse de un sistema de patente, durante el lavado no existió la flexibilidad para realizar los ajustes correspondientes o modificación alguna. Cabe mencionar que una de las características importantes del proceso de lavado, consiste en que se realiza con agua no filtrada, en contraste a los sistemas tradicionales de lavado que emplean agua filtrada. Esta es una ventaja, ya que no se requiere tanque de almacenamiento y tampoco disminuye el volumen total del agua filtrada.

3.2.2.2 Velocidades de lavado.

El *fuzzy* trabajó con un gasto preestablecido de 2.91 lpm y una velocidad de 11.9 m/h sin existir ninguna variante.

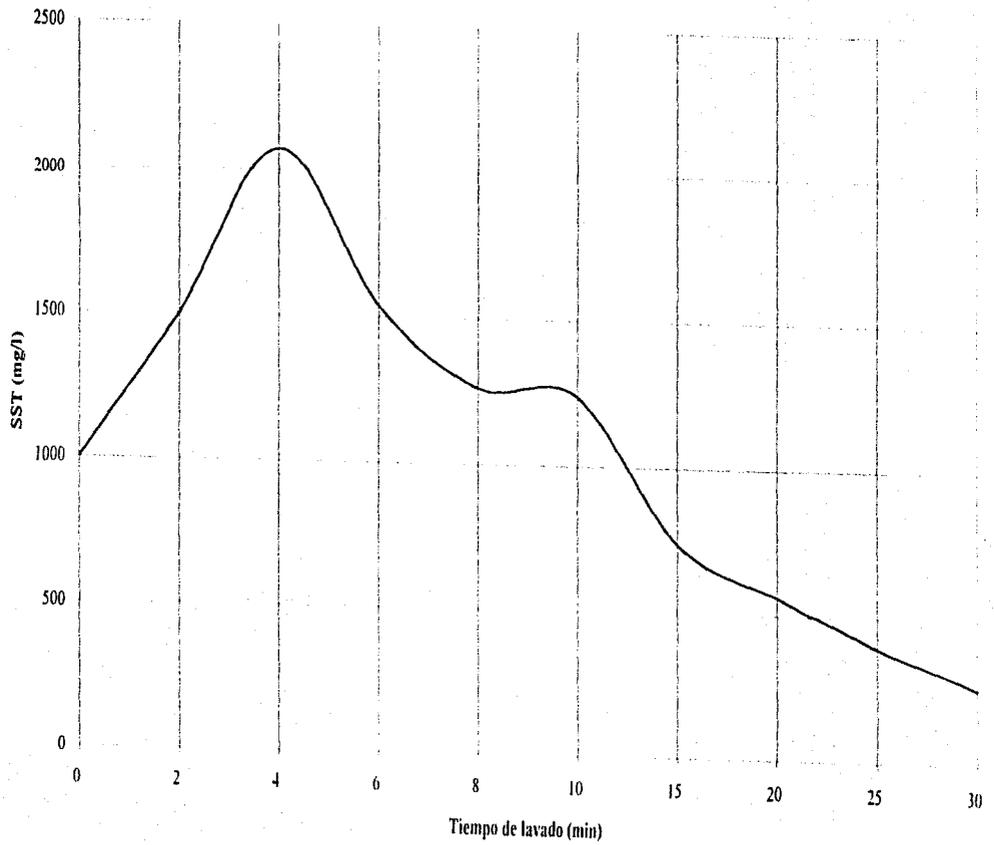
3.2.2.3 Duración de lavado.

Al igual que con la velocidad de operación, el tiempo de duración de lavado fue de 30 min de acuerdo a lo establecido por el constructor, quien además recomienda lavarlo cada 24 h independientemente del proceso de filtración.

3.2.2.4 Sólidos suspendidos en agua de lavado.

La Fig. 49 muestra la distribución de los SST durante el proceso de lavado; con una concentración de 1 000 mg/L al inicio, la curva alcanza su punto máximo (2 000 mg/L) entre los 3 y 5 min. Al final del ciclo de lavado (30 min), las concentraciones registradas son del orden de los 200 mg/L.

Fig. 49 Comportamiento de SS durante el Lavado (2ª Etapa).



CAPITULO 4

4. COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE FILTRACIÓN.

El concepto de filtración de tasa declinante no es nuevo. En 1959 Baylis citado por Cleasby (1981) y Arboleda *et al.*, 1985, reporta el desarrollo experimental del estudio realizado en Chicago, en donde no se emplearon sistemas para controlar el gasto de operación. La velocidad de operación fue habilitada para disminuir de un valor máximo al inicio de la carrera cuando el medio se encontraba totalmente limpio, hasta un valor mínimo antes del lavado del filtro. Baylis concluyó que la calidad del efluente bajo las variaciones de velocidad no fue ni mejor ni peor que la calidad producida por un sistema de velocidad constante, pero la producción de agua fue mucho mayor.

Por otra parte, Corwell *et al.*, 1984 mencionan que la velocidad de filtración en un sistema de tasa constante es regulada mediante el empleo de una válvula en el influente. En la primera parte de la carrera, la cama filtrante se encuentra limpia y genera una pequeña resistencia al paso del flujo. Al inicio de la carrera de filtración, la válvula que controla el gasto de entrada se encuentra en posición abierta generando el gasto de operación. A medida que la carrera de filtración progresa, los sólidos son atrapados por la cama filtrante y la resistencia (o pérdida de carga) a través del medio se incrementa; la válvula de control gradualmente se abre con el propósito de contrarrestar la pérdida de carga, manteniendo constante el gasto o tasa de filtración.

En la filtración de tasa declinante, la resistencia del medio filtrante al inicio de la carrera es baja y la correspondiente velocidad de filtración es mayor a la velocidad promedio. Algunas veces se empleaba un medidor de placa de orificio con el fin de controlar la tasa máxima de operación en un nivel razonable; a medida que el filtro atrapa los sólidos, la resistencia a través de la cama filtrante se incrementa, ocasionando que la velocidad del flujo disminuya. Como el gasto disminuye en cada filtro de manera individual, la pérdida de carga generada por piezas especiales y conductos decrece, teniendo como resultado una recuperación de la pérdida de carga (Corwell *et al.*, 1984). Los filtros de tasa declinante se encuentran interconectados mediante una canaleta distribuidora común, localizada por debajo del nivel mínimo de operación (Arboleda, 1974; Di Bernardo, 1980; Di Bernardo y Cleasby, 1980; Cleasby y Di Bernardo, 1980; Arboleda *et al.*, 1985; Valencia *et al.*, 1985; Hilmoe y Cleasby, 1986). Dicha instalación ocasiona que el nivel de agua sea aproximadamente el mismo en todos los filtros en operación.

Los únicos dos estudios desarrollados a escala piloto con el objetivo primordial de efectuar una comparación entre un sistema de filtración de tasa constante y un sistema de tasa declinante fueron efectuados por Di Bernardo y Cleasby (1980), y Hilmoe y Cleasby (1986).

Di Bernardo y Cleasby (1980) emplearon un filtro de tasa constante y cuatro filtros de tasa declinante en los cuales compararon: pérdida de carga, duración de carrera, y calidad del efluente. Durante la investigación emplearon medio dual y trabajaron con

tres velocidades: 7.3, 12.2 y 17.1 m/h. El medio filtrante de ambos sistemas estuvo formado por una cama de arena de 22.9 cm con un TE de 0.5 mm y un CU de 1.5; mientras que el TE de la antracita fue de 0.95 mm y el CU de 1.5, con un espesor de 38 cm.

En el caso del filtro de tasa constante, el diámetro de la columna fue de 10 cm, con una Δp admisible de 0.43 m; mientras que cada uno de los cuatro filtros de tasa declinante fueron contruidos con un diámetro de 15.2 cm y una Δp admisible de 2.84 m. De dicha investigación, Di Bernardo y Cleasby (1980) mencionan que los filtros de tasa declinante producen en promedio, mejor remoción de la turbiedad (30 a 60 %), mayor duración de carrera y menores incrementos de pérdida de carga.

Por su parte, Hilmoe y Cleasby (1986) presentaron un estudio piloto sobre filtración directa; compararon cuatro filtros de tasa declinante contra un filtro en paralelo de tasa constante. La investigación estuvo conformada por el empleo de dos velocidades: 7.7 y 13.4 m/h. El filtro de tasa constante fue construido con un diámetro de 10.2 cm y una altura total de 2.88 m; mientras que cada uno de los filtros de tasa declinante tuvieron un diámetro de 15 cm y una altura de 3.28 m. Todos los filtros fueron empacados con un medio dual: arena (TE 0.52 mm y CU de 1.4) de 25 cm de espesor y antracita (TE 1.4 mm y CU de 1.36) con un espesor de 35 cm.

Dentro de los principales parámetros empleados para el monitoreo de esta investigación (turbiedad, pérdida de carga, coliformes totales, temperatura, alcalinidad, dureza total, pH, PO_4 , NH_4-N , nitratos, nitritos, DQO) cabe destacar el conteo de partículas. Dichas muestras fueron tomadas en varios puntos estratégicos a lo largo de la carrera de filtración. El rango de tamaño de partícula de interés estuvo comprendido entre 7 y 12 μm , en el que se localizan los quistes de *Gardia*, que fue un parámetro importante para evaluar la efectividad del proceso.

Mientras que Di Bernardo y Cleasby (1980) concluyeron que el sistema de filtros declinantes produce (en promedio) un mejor efluente en cuanto a turbiedad comparado contra el sistema de tasa constante; Hilmoe y Cleasby (1986) no encontraron ninguna diferencia en cuanto a la remoción de turbiedad, distribución del tamaño de partícula, coliformes, etc.

Pero en ambas investigaciones, el sistema de filtración de tasa declinante presentó una ventaja significativa sobre los filtros de tasa constante en lo referente a la pérdida de carga: es decir, el sistema de tasa declinante requiere de una menor Δp admisible.

4.1 PARÁMETROS DE OPERACIÓN

Al operar ambos filtros con un mismo tipo de agua, existe la posibilidad de realizar una comparación en cuanto a la calidad y cantidad de agua tratada que generaron durante el tiempo de operación. Dentro de la Tabla 23 aparecen los diferentes parámetros de operación, efectuando una comparación entre ellos.

Mientras que el filtro de arena trabajó con tres velocidades constantes (10, 12 y 15 m/h), el *fuzzy* operó mediante una tasa declinante, la cual es en promedio, seis veces más rápida. La diferencia entre las tasas y el sistema de funcionamiento de cada filtro se ve ampliamente reflejado mediante la producción de agua filtrada; por una parte, la producción promedio del filtro de arena es de 19.53 m³ (duración promedio de carrera 24.6 h), mientras que la producción promedio del *fuzzy* para una carrera de 9 h es de 155 m³.

Tabla 23 Parámetros de operación.

Parámetro	Arena	Fuzzy	Comentarios
Tipo de operación	gravedad	presión	
Tasa de filtración	constante	declinante	
Velocidad (m/h)	10	112 ^a	Los valores que se presentan son los máximos, mínimos y promedios en el caso del <i>fuzzy</i> .
	12	59 ^b	
	15	16.5 ^c	
Sección transversal (m ²)	0.060	0.21	
Δp (mica)	2.00	0.50	
Compresión del medio (%)	-	20	Debido a fallas mecánicas no fue posible efectuar otras compresiones
	-	23	
	-	9.0 ^d	
Duración de carrera (h)	32	8.3 ^e	
	21		
	21		
Producción de agua filtrada por carrera (m ³)	21.14	163 ^d	
	16.64	148 ^e	
	20.81	-	
Sistema de lavado	agua	agua y aire	El fabricante no proporcionó datos referentes al consumo de aire.
Consumo de agua en lavado (%)	2.54	< 1	Concuerda con los valores reportados por Tchobanoglous, 1996

Valores: ^a máximo
^b promedio
^c mínimo
^d compresión 20%
^e compresión 23%

Si se quiere igualar la producción de agua en ambos filtros en una carrera de filtración, es necesario que el filtro de arena cuente con una superficie ocho veces mayor (0.525 m²); sin embargo, el tiempo necesario para producir dicho volumen en el filtro de arena es de aproximadamente 24.7 h, mientras que el filtro *fuzzy* es capaz de producir dicho volumen en sólo 9 h.

En lo referente al consumo de agua durante el lavado, la Tabla 23 muestra que el filtro de arena emplea un 2.54% del agua filtrada (0.5 m³ en promedio), mientras que el *fuzzy* requiere menos de 1% (1.5 m³). Además, con la diferencia de que éste no utiliza agua filtrada. El porcentaje de lavado del *fuzzy* obtenido dentro de esta investigación, concuerda con lo que reportan Tchobanoglous y Caliskaner (1996), ellos mencionan que es posible emplear un valor cercano al 1% como consumo de agua.

Dentro del sistema de lavado en el filtro *fuzzy*, existe la duda en lo referente al consumo de aire, ya que el fabricante no reporta ningún dato al respecto.

4.2 EFICIENCIAS DE REMOCIÓN.

Con las dos únicas compresiones que operó el filtro *fuzzy* (20 y 23%), presentó remociones muy similares al filtro de arena (Tabla 24). En lo que corresponde a la remoción de los huevos de helmintos, la mayor eficiencia favoreció al filtro de arena con un valor de 85% superior al 65% reportado por el filtro *fuzzy*, tal y como lo muestra la Fig. 50. Pero, en ambos casos el objetivo de cumplir con los requerimientos más estrictos de la normatividad para reúso agrícola se logra. Teniendo las condiciones adecuadas en cuanto al incremento de la compresión, el porcentaje de remoción del *fuzzy* puede incrementar. Por otra parte, la Fig. 51 presenta las diversas concentraciones registradas tanto en el influente como el efluente de cada filtro.

Tabla 24 Porcentaje de remoción.

Parametro	Arena	Fuzzy
H H (org/L)	85	65
SST (mg/L)	40	41
Turbiedad (UTN)	20	-
Color (Pt-Co)	7	-
DCO total (mg/L)	10	10
DCO soluble (mg/L)	7	10

Los valores de remoción para los SST en los dos filtros (Fig 52), son prácticamente idénticos; pero al igual que en el caso de la remoción de los huevos de helmintos, el *fuzzy* tiene la posibilidad de mejorar su eficiencia incrementando la compresión del medio sintético.

La Fig. 53 muestra las concentraciones registradas de los SST tanto en el influente como efluente de cada filtro; dicha gráfica muestra que los menores valores, tanto en el influente como efluente, se presentaron para el filtro de arena con un valor promedio de 28 y 17 mg/L respectivamente.

Partiendo de las características que presenta un efluente primario avanzado, la filtración mediante el filtro *fuzzy* es deficiente para efectuar la remoción tanto de turbiedad como de color. Esta situación es generada por la gran cantidad de sólidos suspendidos presentes en el efluente cuyo tamaño es menor a 1 μm y que por consiguiente el filtro *fuzzy* no es capaz de retener. Para el caso del filtro de arena ocurre algo similar, pero dicho filtro presenta valores bajos para la remoción tanto de turbiedad y color, 20 y 7% respectivamente. Esta situación no es de gran importancia, puesto que el destino del agua filtrada es en reúso agrícola.

Fig. 50 Remoción de huevos de helmintos

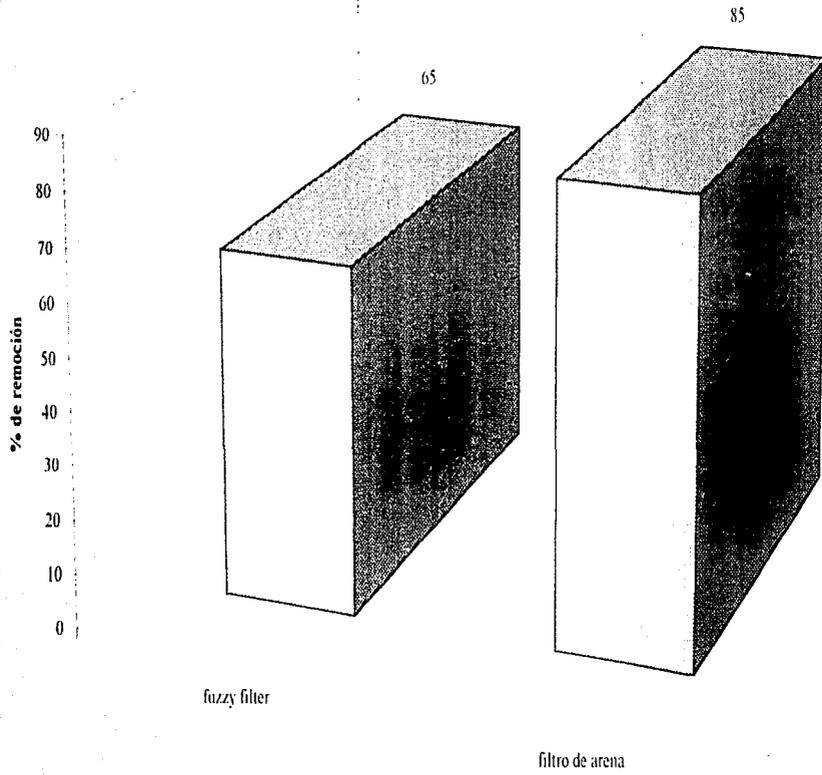


Fig. 51 Valores promedio de huevos de helmintos

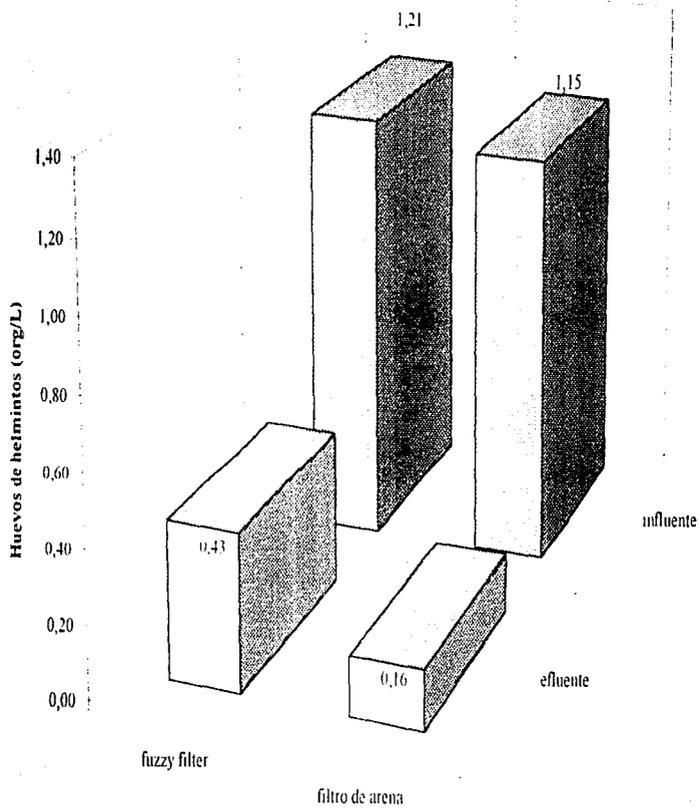


Fig. 52 Remoción de sólidos suspendidos totales

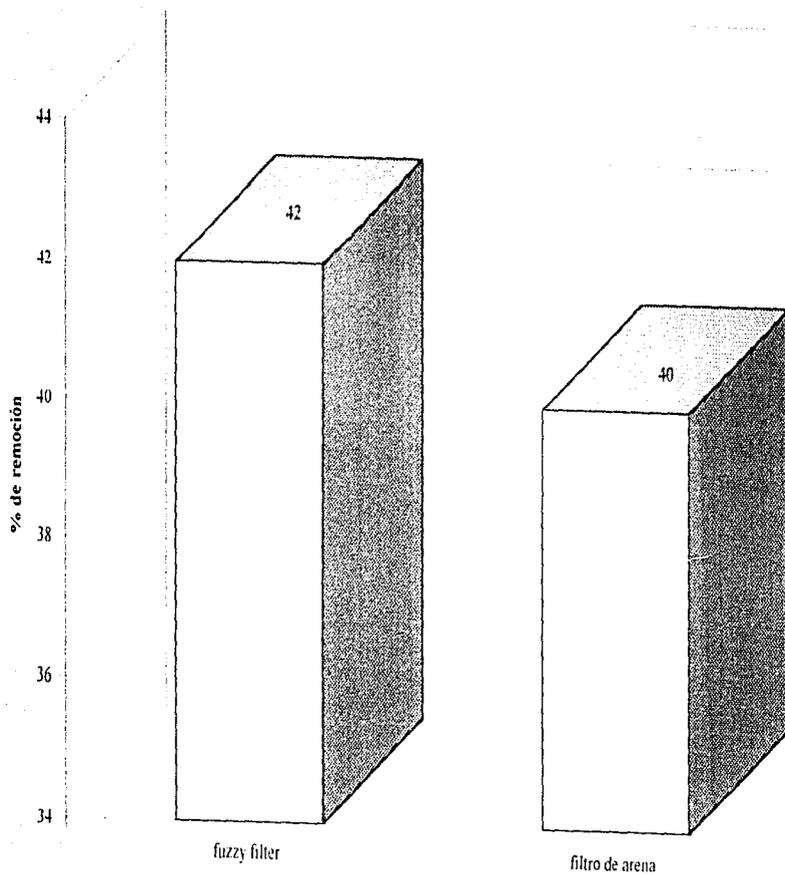
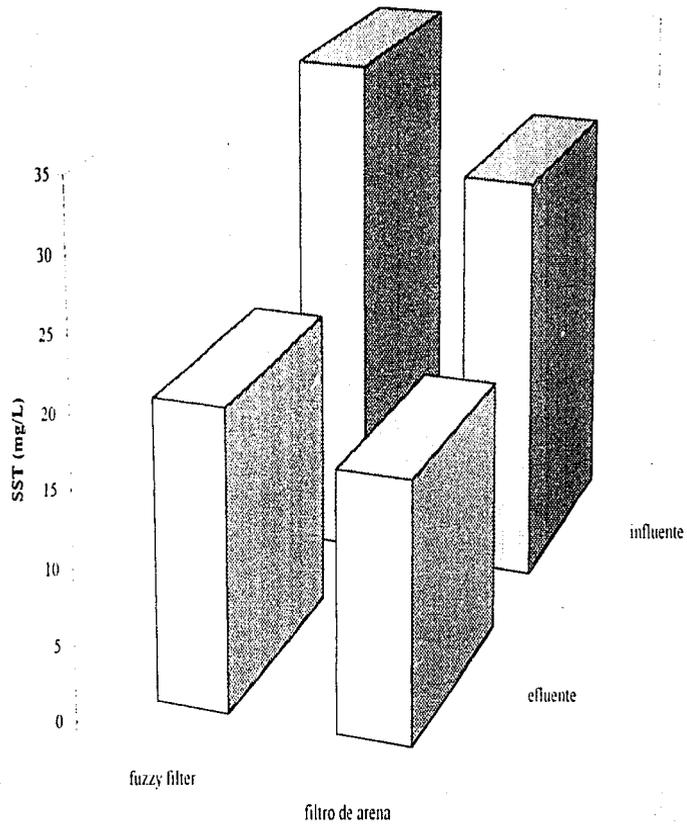


Fig. 53 Valores promedio de SST



La materia orgánica reportada como DQO, presentó similitud en cuanto a la remoción en ambos filtros. La Fig. 54 presenta los porcentajes de remoción en cada uno de los filtros, tanto para la DQO total como para la soluble. El filtro de arena presentó una ligera desventaja en cuanto a la remoción de la DQO soluble reportando un valor del 7% contra un 10% del *fuzzy*.

4.3 DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

Como puede observarse, la diferencia que guardan entre sí los distintos contaminantes evaluados en este estudio, en relación con la remoción, es mínima. La Fig. 55 presenta la distribución del tamaño de partícula de cada uno de los efluentes que conformaron el proceso de tratamiento efectuada mediante un contador de partícula.

La Fig. 55 muestra que el área bajo la curva es el promedio de los SST (mg/L) relacionados con el tamaño de partícula para cada efluente del proceso; dicha figura presenta que para el caso del agua cruda, la mayor concentración de SS tiene un tamaño de 30 μm . Por otra parte, tanto el TPA como cada uno de los filtros concentran su mayor incidencia de tamaño para los SS en el intervalo de 18 a 22 μm .

Al igual que lo reportado por Landa *et al.*, 1996; el TPA es capaz de remover un 67% de las partículas superiores a las 20 μm presentes en el agua cruda del Gran Canal. Sobre este intervalo de partículas superiores a las 20 μm , es donde se localizan los huevos de helmintos.

De dicha gráfica se sabe que ambos filtros presentan una gran similitud en cuanto a la remoción de partículas; el filtro de arena remueve aproximadamente un 16% del total de partículas superiores a 20 μm presentes en el agua del Gran Canal después de someterla a un TPA, mientras que el porcentaje de remoción de *fuzzy* es del 19% bajo las mismas condiciones. El hecho de que los dos sistemas de filtración presenten remociones de partículas con tanta semejanza, corrobora los resultados presentados anteriormente, en cuanto a la remoción de los diversos parámetros analizados: huevos de helmintos, SST, DQO, Turbiedad, etc.

Young (1985) menciona que las partículas menores a 20 μm no se remueven con eficiencia mediante el proceso de filtración, aún cuando el TE del filtro sea de 0.2 mm. Por otro lado, las partículas comprendidas entre 5 y 100 μm fueron retenidas de acuerdo a lo mencionado por Huiung (1981) citado por Darby (1991).

Fig. 54 Remoción de materia orgánica como DQO

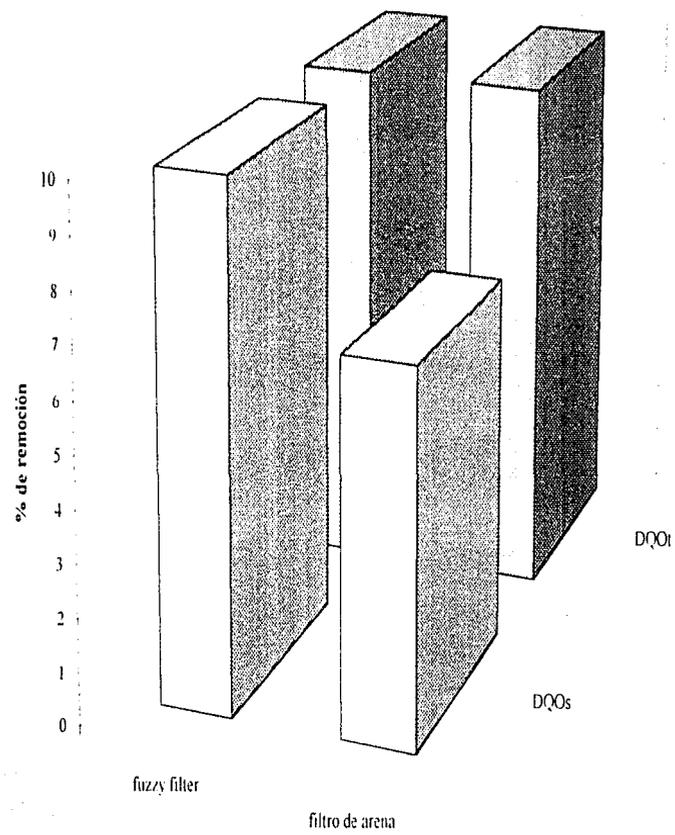
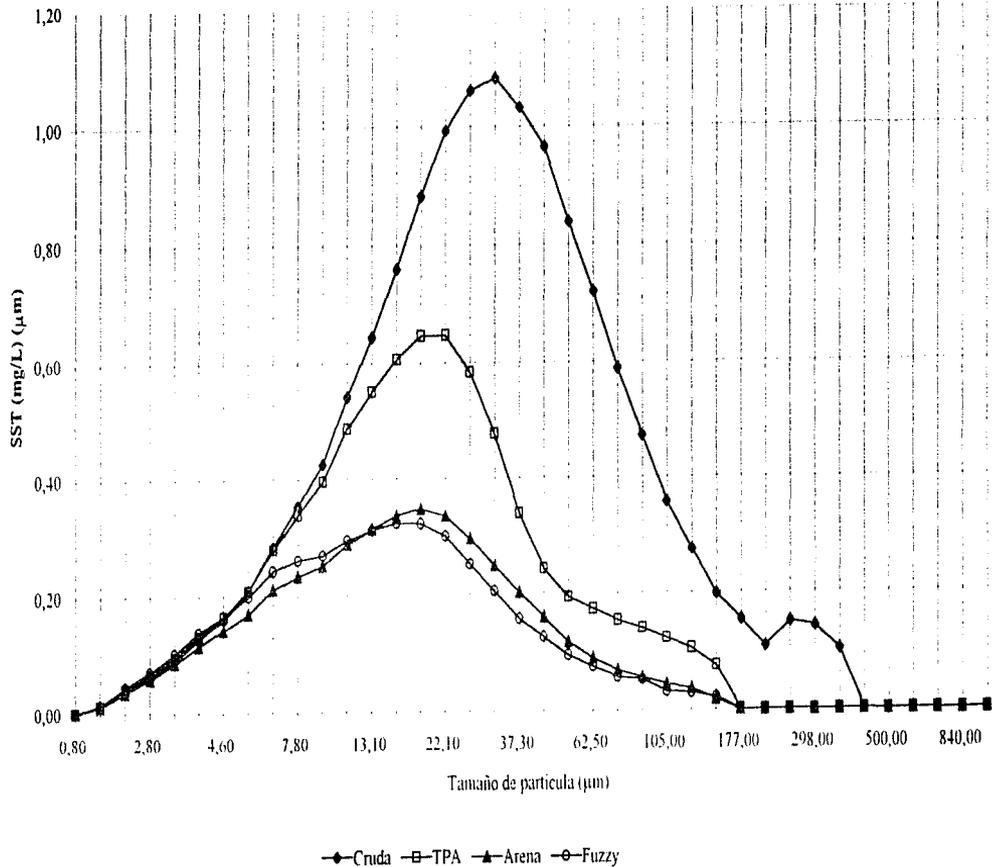


Fig. 55 Distribución del tamaño de partícula



CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES

Los resultados que se presentaron en esta investigación, están directamente relacionados con: la calidad del efluente de un TPA, el tamaño específico del medio filtrante, o bien, la compresión del medio sintético y la tasa de filtración.

Con las tres velocidades de operación empleadas, se demostró la versatilidad que ofrece en sí el proceso de filtración en arena.

Al término de este estudio, se pudieron observar las ventajas que presenta el medio filtrante de TE 1.2 mm, espesor del lecho (0.96 m), duración de carrera, tasa de filtración óptima, tipo y frecuencia de lavado, producción y consumo de agua.

La velocidad óptima de diseño acorde con el tiempo de duración, corresponde al valor de 12 m/h; velocidades mayores representarían un incremento en los sólidos suspendidos, color y turbiedad, fenómeno ocasionado por la ruptura del floc sometido al choque contra la cama filtrante.

Se desarrolló un nomograma que relaciona la tasa de filtración y el tiempo de carrera con el cual se puede determinar la velocidad de filtración de acuerdo a la frecuencia deseada de lavado o la producción necesaria de agua para reúso.

El objetivo planteado al inicio de este trabajo, consistió en observar la eficiencia de remoción de huevos de helmintos con el proceso de filtración; lo cual se cumplió perfectamente alcanzando un valor del 85% de remoción.

Los parámetros de diseño que se recomiendan para la ejecución a gran escala de un sistema de filtración con arena, son los siguientes:

Material de empaque:	arena silicea.
Tamaño del medio:	1.2 mm.
Coefficiente de uniformidad:	1.6.
Espesor de la cama filtrante:	0.96 m.
Velocidad de filtración:	12 m/h.
Δp máx:	2.0 m.
Sistema de lavado:	agua.
Ciclos de lavado:	3.
Volumen lavado/volumen filtrado:	2.54 %.

Por otra parte, el *fuzzy* demostró ser una opción viable para la filtración de un TPA, presentó carreras mucho más cortas que el filtro de arena (inferiores a las 10 h), pero con una mayor producción de agua (163.9 m³/carrera en promedio, 775 % más). El consumo de agua de lavado estuvo marcado en menos del 1%, empleando agua no filtrada.

El novedoso empaque utilizado en el *fuzzy filter*, demostró ser una alternativa dentro de la gama de materiales que generalmente se usaban en los procesos de filtración, con las ventajas que un material sintético puede dar (compresibilidad, duración, etc.).

En lo que respecta a la remoción de los helmintos, éste tuvo una eficiencia del 65%, generando valores que también cumplen con la normatividad. El valor antes mencionado está en posibilidad de ser mejorado, siempre y cuando se tenga un sistema piloto que permita ser operado con toda la gama de posibilidades que ofrece el fabricante.

Una cualidad más del *fuzzy*, radica en que dicho sistema no requiere de tiempo de maduración; de manera inmediata es capaz de producir agua con la calidad necesaria.

Los parámetros de diseño que se recomiendan para el sistema de filtración con *fuzzy filter*, son los siguientes:

Material de empaque:	sintético.
Tamaño del medio:	30 mm (aprox).
Compresión del medio:	20 %.
Velocidad de filtración:	120 m/h.
Tipo de carcasa:	metálica.
Presión máxima:	5 mca.
Sistema de lavado:	con agua y aire.
Ciclos de lavado:	6 (5 min c/u).

CAPITULO 6

6. BIBLIOGRAFÍA

- Adin, A.; Baumann, R. and Cleasby, J. (1979). "The Application of Filtration Theory to Pilot Plant Design" *Journal American Water Works Associations*, 71, pp 17-27 (January).
- Arboleda V. J., (1973). "Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua". *CEPIS/OMS*, pp 296-558.
- Arboleda, L. (1974). "Hydraulic Control Systems of Constant and Declining Flow Rate in Filtration". *Journal American Water Works Association*, 66, pp 87-91 (February).
- Arboleda, J.; Giraldo, R. and Snel, H. (1985). "Hydraulic Behavior of Declining Rate Filtration". *Journal American Water Works Association*, 77, pp 67-74 (December).
- Asano, T. and Pettygrove, G. (1990). "Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater - A Guidance Manual" *California State Water Resources Control Board*, Report No. 84-1 wr.
- Capella A. (1996). "Tratamiento y reuso de las aguas residuales generadas en el Valle de México". *Agua y Ambiente*, A.C. Febrero.
- Cifuentes, E.; Blumenthal, M. J.; Ruiz-Palacios, G. y Beneth, S. (1992). "Health Impact Evaluation of Wastewater in Mexico". *Public Health Review*, 19, pp 243-250.
- Cleasby, J. L. (1981). "Declining rate filtration". *Journal American Water Works Association*, 73, pp 484-489 (September).
- Cleasby, J. L. and Di Bernardo, L. (1980). "Hydraulic Considerations in Declining Rate Filtration". *Journal of the Environmental Engineering Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineering*, No. EE 6., 106, pp 1043-1055 (December).
- Cleasby, J. L. and Hilmoe, D. J. (1986). "Comparing Constant Rate and Declining Rate Direct Filtration of a Surface Water". *Journal American Water Works Association*, 78, pp 26-34 (December).
- Cleasby, J. L. (1993) "Status of declining rate filtration design" *Water Science Technology*, No. 10, 27 pp 151-164
- Cornwell, D. A.; Bishop, M. M. and Dunn, J. D. (1984). "Declining Rate Filters: Regulatory Aspect and Operating Results". *Journal American Water Works Association*, 76, pp 55-61 (December).
- Darby, J. L.; Lawler, D. F. and WilsHusen, T. P. (1991) "Depth Filtration of Wastewater: Particle size and Ripening". *Journal Water Pollution Control Federation*, No. 3, 63, pp 228-238 (May/June)

Dawda, M. M.; Davidson, M. L. and Middlebrook, E. J. (1978). "Granular media filtration of secondary effluent". *Journal Water Pollution Control Federation*. 50, pp 2143-2157 (September).

Di Bernardo, L. and Cleasby, J. (1980). "Declining Rate Versus Constant Rate Filtration". *Journal of the Environmental Engineering Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineering*. No. EE 6, 106, pp 1023-1041 (December).

Dunn, A., (1991). "The Development of a Predictive Model for the Removal of Helminth Eggs During Sand Filtration". *Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy, University of Southampton*.

Fair Geyer J. y Okun D. (1979). "Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales". *De. Limusa*, pp 217-273.

Gregory, Ross (1972). "Backwashing of Granular Water Filters". *Journal of Sanitary Engineering Division A.S.C.E.* No. SA4, 68, pp 680-681 (August).

Ives K. J. and Sholji I., (1995). "Research on Variables Affecting Filtration" *Journal of the Sanitary Engineering Division Proceeding of the American Society of Civil Engineerings*. 91 pp 1-19 (August).

Jiménez, B. E. (1995) "Filtración de agua". *Series del Instituto de Ingeniería, UNAM*. 572, Octubre.

Jiménez, B.; Chávez, A. y Hurtado, C. (1995). "Tratabilidad del agua residual del Valle de México". Informe para la Comisión Nacional del Agua, México.

Kawamura S.(1975) "Design and Operation of High-Rate Filters-Part 1" *Journal of American Waters Works Association*. pp 535-544 (October).

Landa, H. (1996). "Filtración rápida de un efluente primario avanzado". *Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Ambiental*. DEPEI, UNAM.

Landa, H.; Capella, A. and Jiménez, B., (1996). "Particle Size Distribution in an Effluent From an Advanced Primary Treatment and Removal During Filtration". IAWQ/IWSA Joint Specialist Group on Particle Separation. 4th International Conference Jerusalem, 28-30. The Role of Particle Characteristics in Separation Processes (October).

Metcalf y Eddy, Inc. (1979). "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse". *Second Edition, McGraw-Hill, USA*.

Metcalf y Eddy, Inc. (1991). "Wastewater engineering: Treatment, Disposal, Reuse". *Third Edition, McGraw-Hill, USA*.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. "Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales". *Diario Oficial de la Federación*. pp 67-81 (Enero 6 de 1997).

Shao Y. J.; Jenkins, D., Wada, F. and Crosse, J. (1993). "Advanced Primary Treatment: an Alternative to Biological Secondary Treatment: The City of the Angeles, C.A. Hyperion Treatment Plant Experience". 66th Annual Conference & Exposition, Anaheim, California, USA, October 3-7, *Water Environment Federation*, pp 181-191.

Shuval, I. H. (1986) "Water Renovation and Reuse". Academic Press, Inc., New York, USA. pp 33-91.

Siemak, R. C. "Tertiary Filtration: Practical Design Consideration". *Journal Water Pollution Control Federation*, 56, No. 8, pp 944-949 (August).

Sotomayor, C.; Vásquez, B.; Aguilar, F. y Croda, R. (1994). "Identificación de Helmintos" *Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (SMISA)*. Año 7, No. 23. México.

Steel, E. W. y McGhee, T. J. (1981). "Abastecimiento de agua y alcantarillado". *Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona*.

Tchobanglous, G. and Caliskaner, O. (1995) "The Importance of Filtration in Wastewater Reclamation". *Water Engineering & Management*, pp 26-27 (October).

Tchobanglous, G. and Caliskaner, O. (1996). "Evaluation of the Fuzzy Filtration of the Secondary Effluent". *Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis* (September).

Tchobanglous G. and Eliassen R., (1970). "Filtration of Treated Sewage Effluent". *Journal of the Sanitary Engineering Proceeding of the American Society of Civil Engineers*, 96, pp 243-265 (April).

Young, J. C. (1985). "Operating Problems with Wastewater Filters". *Journal Water Pollution Control Federation*, 57, pp 22 (January).

ANEXO A

ANEXO A: BITACORA DE FILTRACIÓN 1ª ETAPA (FILTRO DE ARENA LE 1.2)

Fecha	Hora	Influyente							Efluente										
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL
18/04/96	10:00	Inicio de cartera																	
	10:30	29	212				21				36	234			4				
	11:00	82	404				93				65	351			35				
	12:00	33	212				29				55	316			36				
	13:00	36	219				42				44	270			22				
	14:00	51	295				45				55	311			43				
	15:00	hora de comida																	
	16:00	fin de cartera Duración 6 horas																	

Fecha	Hora	Influyente							Efluente										
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL
18/04/96	10:00	Inicio de cartera																	
	10:30	43	289				32	23	9		36	278			16	12	4		
	11:00	481	1100				142	176	166		95	438			94	57	37		
	12:00	32	262				27	24	4		31	252			20	22	22		
	13:00	34	282				2	2	1		61	446			24	22	5		
	14:00	48	330				51	30	21		34	265			25	22	5		
	14:30	fin de cartera Duración 4.5 horas																	

Fecha	Hora	Influyente							Efluente										
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL
24/04/96	10:00	Inicio de cartera																	
	10:30	54	346				24	12	20		60	344			11	9	2		
	11:00	70	421				85	12	22		63	347			25	6	25		
	12:00	65	385				68	12	21		64	372			25	16	3		
	13:00	82	397				48	28	17		78	349			31	20	13		
	14:00	62	383				26	22	4		71	382			11	13	4		
	15:00	56	342				20	14	11		45	329			9	7	2		
	16:00	42	333				21	14	7		43	316			16	12	4		
	17:00	33	314				17	12	2		51	321			14	12	1		
	17:00	fin de cartera Duración 7 horas																	

Fecha	Hora	Influyente							Efluente										
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL
25/04/96	9:30	Inicio de cartera																	
	10:00	42	298				12	4	5		57	325			6	6	0		
	11:00	57	313				14	5	7		55	288			9	9	0		
	12:00	Inicio de cartera con caudal por macaceros (abertura)																	
	13:00	33	265				17	11	6		49	281			9	7	2		
	14:00	53	352				16	10	5		65	323			12	9	1		
	15:00	hora de comida																	
	16:00	42	262				13	16	4		62	290			16	9	2		
	17:00	31	249				20	14	6		57	356			15	12	3		
	18:00	35	320				18	16	4		52	352			17	13	4		
26/04/96	9:15	45	320				18	20	17		31	250			19	15	4		
	10:00	52	348				23	31	20		32	255			18	13	5		
	11:00	73	429				8	13	28		61	329			49	27	22		
	11:30	fin de cartera Duración 2.5 horas																	

Fecha	Hora	Influyente							Efluente										
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL
30/04/96	10:00	Inicio de cartera																	
	10:30	80	447				101	80	12		78	436			60	11	49		
	11:00	44	321				10	21	9		70	404			18	14	4		
	12:00	34	248				11	16	3		60	342			12	13	3		

11:00	81	170	8.02	218		92	11	35		35	239	6.12	21.8	2	35	27	8
11:30	Corte de línea																

Fecha	Hora	Influyente								Efluente								
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
10/06	13:45	Corte de línea																
	14:00	38	231	8.05	216		41	14	7		32	244	8.10	21.8	2	30	23	6
	15:00	41	228	8.05	215		43	13	13		33	245	8.21	21.9	2	33	21	4
	16:00	43	261	8.12	213		35	13	6		38	243	8.26	21.8	2	35	20	5
	17:00	39	251	8.2	213		33	20	5		41	243	8.23	21.4	2	30	27	3
	17:15	Corte de línea																

*Tabla en línea corriente eléctrica

**Tabla de datos de línea de función para flujo

Fecha	Hora	Influyente								Efluente								
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
10/06	11:30	Corte de línea																
	12:30	34	194	7.97	222		41	30	5		71	379	8.17	22.4	9	16	11	3
	13:00	112	286	8.01	22.8		95	14	16		112	420	8.23	22.6	1	43	35	8
	14:00	22	219	7.91	21.1		38	30	12		41	207	8.09	23.4	5	21	20	3
	15:00	36	231	7.83	24.3		40	24	22		43	230	8.03	23.8	2	31	25	6
	16:00	Tabla en línea corriente eléctrica																
	17:00	44	261	7.96	21.4		45	27	18		47	253	7.96	25.5	5	24	20	8
	18:00	47	274	7.92	24.3		88	61	27		59	282	7.93	24.9	5	21	19	3
	19:00	28	187	7.83	23.4		27	23	4		41	247	8.05	23.1	7	18	14	4
	20:00	63	219	7.91	22.1		45	47	21		58	187	8.11	22.4	3	19	24	15

*Tabla en línea corriente eléctrica

Fecha	Hora	Influyente								Efluente								
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
10/06	8:45	Corte de línea																
	10:30	33	205	7.83	20.9		32	21	12		33	213	8.14	21.6	7	15	11	6
	11:00	38	235	7.81	21.9		42	33	12		45	247	8.03	22.2	7	19	19	0
	11:30	Tabla en línea corriente eléctrica. Se paró el equipo de bombeo de agua para la planta de tratamiento de agua potable.																

Fecha	Hora	Influyente								Efluente								
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
10/06	14:00	Problemas con la bomba de distribución de agua por lo que no se hizo la operación de bombeo a las 14:00																
	14:30	48	275	7.94	21.7		68	47	23		49	328	8.19	23.2	4	43	23	10
	15:00	39	242	8.11	21.7		49	37	12		42	242	8.22	23.5	6	35	16	4
	16:00	34	180	8.04	21.4		54	38	16		36	119	8.44	25.6	6	22	20	3
	17:00	44	240	8.04	21.9		43	31	11		38	244	8.12	26.8	6	26	21	5
	18:00	32	197	8.04	21.9		38	23	13		40	249	8.19	23.8	9	25	23	7
	19:00	28	183	7.83	23.4		29	23	4		35	195	8.16	21	8	20		
	20:00	47	211	7.89	21.3		52	45	12		45	264	8.15	21.3	9	20		
	20:15	Corte de línea corriente eléctrica. Fin de carrera																

10/06/16: Se opera a pH 8.1 por error de línea de control de pH.

Fecha	Hora	Influyente								Efluente								
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
10/06	13:30	Corte de línea																
	14:30	47	241	8.23	24.1		4	18	32		53	243	8.21	24.1	6	18	17	1
	14:00	43	287	8.1	23.9		4	25	16		51	102	8.05	23.9	6	16	14	4
	15:00	Corte de línea																
	16:00	39	205	8.14	20.7		1	45	33		06	160	8.32	26.4	3	27	21	4
	17:00	47	201	8.23	24.7		2	45	41		4	348	8.37	24.7	4	37	31	2

Fecha	Hora	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL
18:00	30	200	7.94	2.49	6	28	21	2			61	275	8.13	24.4	6	23	19	4	
19:00	40	215	6.62	2.41	4	34	28	6			72	278	6.81	23.8	7	23	19	4	
20:00	70	204	6.66	2.3	6	27	21	6			49	262	6.70	22.9	8	24	19	5	

Cierre de la válvula automática. Fin de lectura

270506 Protenas con la bomba los 23:00 de salida de alumbrado

270506 Baja dos fases de salida de alumbrado. El tiempo en el que se completa el ciclo de trabajo es de 15 minutos. Se le da un tiempo de espera de 10 minutos para que se arranque el ffo para poder seguir el ciclo de trabajo.

Fecha	Hora	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL
24/05/06	10:30	103	103																
	11:00	87	447	7.12	23.7	0	14	44	19		102	493	7.14	23.8	1	43	37	8	
	12:00	32	253	6.84	24.5	4	20	23	0		57	302	6.94	24.9	6	17	17	0	
	13:00	46	286	6.84	24.9	3	29	25	4	0.2	86	358	6.89	25.5	5	22	20	2	0
	14:00	61	325	6.78	26.2	1	21	54	27		71	297	6.76	26.7	5	27	20	2	

Plazo de operación de la planta. Fin de lectura

270506 Inicio de operación de la planta 12:00. Registro de datos hasta 14:00 por lo que se arranca el ffo

Fecha	Hora	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL
28/05/06	11:00	103	103																
	11:30	43	224	6.74	24.2	11	28	28	4		52	240	6.99	24.1	8	23	11	1	
	12:00	29	212	6.84	24.1	9	32	28	4		68	265	6.90	24.1	13	21	16	4	
	13:00	20	209	6.81	24.1	8	34	27	5		71	281	6.91	24.3	6	26	21	4	
	14:00	36	239	6.81	24.6	5	34	33	1		65	270	6.8	24.8	6	26	21	4	
	15:00	51	292	6.81	24.8	3	46	47	14		68	280	6.83	24.6	5	26	21	5	
	16:00	103	103																
	17:00	54	315	6.81	26.1	3	30	48	22	2	60	314	6.96	26.1	4	48	36	12	18
	18:00	68	328	6.86	24.6	3	23	50	21		41	251	6.94	24.8	3	30	25	27	
	19:00	73	357	6.8	25.1	3	37	53	25		74	365	6.96	24.8	2	72	51	21	
	20:00	40	222	7.22	24.8	5	26	26			64	288	7.17	24.8	6	32	32		

Cierre de la válvula automática. Fin de lectura

*Error en el peso 2

Fecha	Hora	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL
29/05/06	9:30	103	103																
	10:00	51	243	6.86	22.6	6	39	33	8		66	284	6.93	22.9	7	19	15	4	
	11:00	38	240	7	23.3	4	26	26	6		59	231	7.04	23.6	5	18	12	1	
	12:00	47	257	7.1	23.1	4	31	26	6		62	302	7.03	24.6	6	21	18	3	
	13:00	47	257	7.1	23.1	4	31	26	6		62	302	7.03	24.6	6	21	18	3	
	14:00	112	309	7.07	24.6	1	41	51	21		104	413	7.07	24.9	2	67	42	15	
	15:00	43	294	6.94	24.1	4	41	31	9		57	696	6.97	25.7	4	43	37	8	
	16:00	59	324	7	25	4	48	36	12		107	425	7.15	25.5	7	33	20	7	
	18:00	51	276	7.10	24.2	4	45	41	4		77	324	7.13	23.1	4	38	32	6	
	19:00	61	284	7.11	24.2	4	40	37	3		84	385	7.15	22.3	5	30	29	1	

Cierre de la válvula. Fin de lectura

Fecha	Hora	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	HNL
30/05/06	9:30	103	103																
	10:00	51	243	6.95	23.1	8	40	29	11		29	275	7.13	23.1	11	24	19	4	
	12:00	43	240	6.99	23.4	4	30	40	8		61	344	7.12	23.7	11	36	29	4	
	13:00	41	238	7.03	24.6	4	38	36	8		71	344	7.1	22.9	9	39	25	2	
	14:00	43	238	6.85	24.8	6	31	28	1		71	270	7.06	24.4	8	21	22	5	

Cierre de la válvula por error de la cámara en el sensor. La válvula se arranca automáticamente a las 12:45

ANEXO B

ANEXO B: BITACORA 2ª ETAPA (FILTRO DE ARENA TE 1.2).

Fecha	Hora	Influyente							Efluente								
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
100 de muestras en las 24hrs																	
19/06/96	12:45	Inio de camera															
	11:00	41	267	7.08	23.9	7	27	18	8	60	380	7.08	24.2	7	13	12	1
	15:00	45	314	7	24.6	6	31	28	4	76	64	25.1	4	20	15	5	0
	17:00	64	299	7.14	24.7	6	31	30	2	30	30	10	26	22	4	4	0
	19:00	41	298	7.1	22	8	24	20	4	95	383	7.23	27.7	10	25	15	7
	22:00	50	296	7.14	20.9	10	19	15	4	51	345	7.29	21	11	14	14	0
11/06/96	7:00	31	202	7.04	20.2	8	19	19	0	55	271	7.22	20.4	10	12	15	0
	4:00	32	200	7.01	18.8	9	23	19	4	43	248	7.18	19	15	11	10	1
	5:00	27	203	6.97	17.3	10	21	21	0	45	245	7.09	17.6	13	8	0	0
	9:00	47	231	6.95	16.8	11	18	17	1	34	198	7.1	20	13	11	10	1
	11:00	27	186	6.84	25.7	8	16	15	3	76	321	7.03	21.6	10	10	9	1
	13:00	43	228	6.87	23.7	1	20	21	6	52	246	6.87	23.9	7	14	13	1
	15:00	41	250	6.85	22	6	20	20	9	48	311	6.99	22	6	15		
	17:00	122	438	7.05	21.2	7	16	12	0	129	470	7.21	23.1	9	15	15	0
	18:00	34	235	6.9	22.6	6	20	21	5	41	233	7.02	22.6	6	18	13	5
	22:00	38	210	6.96	21.8	9	24	20	4	32	187	6.95	21.6	15	16	11	5
12/06/96	1:00	23	202	6.95	20.8	8	23	18	10	31	173	6.97	20.8	7	20	12	8
	4:00	17	205	6.97	19.6	6	27	19	9	29	179	6.97	19.6	7	17	12	4
	6:00	Inio de camera															

Fecha	Hora	Influyente							Efluente								
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
100 de muestras en las 24hrs																	
12/06/96	6:50	Inio de camera															
	7:50	32	250	6.83	19.1	7	9	8	1	15	328	7	19.1	9	9	5	2
	9:00	31	160	6.84	20.6	7	17	17	10	26	360	7.09	20.6	33	15	1	0
	11:00	41	289	6.88	22.6	7	23	23	2	63	274	7.04	22.3	17	16	1	0
	13:00	37	217	6.82	21	8	24	4	90	153	7.05	23.1	15	15	0	0	0
	15:00	43	245	6.85	21.3	34	24	10	81	301	7.15	21.2	19	15	4	2	0
	17:00	68	355	6.99	22.7	22	16	6	63	281	7.24	22.5	16	14	2	0	0
	19:00	33	241	6.94	22.4	23	18	13	47	359	7.1	22.3	22	11	11	0	0
10 de muestras en las 24hrs por problemas con la camara																	
13/06/96	9:00	40	224	6.87	20.1	20	17	3	51	202	7.03	23.3	15	11	4	0	0
	11:00	35	215	6.82	21.2	20	15	9	25	174	6.88	23.1	19	10	0	0	0
	13:00	45	251	6.85	22	63	45	21	41	201	6.89	22.7	41	32	9	0	0
	15:00	51	288	6.89	22.5	24	21	4	35	183	6.96	23.3	32	15	0	0	0
	17:00	119	478	7	21.8	82	52	37	110	325	6.88	23.1	47	49	28	0	0
	19:00	37	245	7.04	21	29	21	2	93	428	7	21.6	32				
	19:40	Inio de camera															

Fecha	Hora	Influyente							Efluente								
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
100 de muestras en las 24hrs																	
13/06/96	7:00	Inio de camera															
	22:00	21	201	6.91	21.6	10	14	2	5	241	7.09	20.7	4				
14/06/96	1:00	141	403	6.8	22.1	10	11	2	1	147	7.08	22.5	8	8	0	0	0
	4:00	17	165	6.89	19.7	16	12	6	1	153	7.04	19.8	8	6	2	2	0
	7:00	11	155	6.89	19.3	15	15	1	1	141	7.07	19.3	8	4	4	4	0
	9:00	21	187	6.95	20.9	11	13	4	35	179	7.09	20	6	4	2	2	0
	10:15	Inio de camera															

Fecha	Hora	Influyente							Efluente								
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
100 de muestras en las 24hrs																	
13/06/96	1:00	Inio de camera															
	13:00	17	141	7	24.2	10	14	2	22	159	7.11	23.8	5	5	0	0	0
	14:00	17	129	6.93	23.3	10	14	2	1	143	7.07	23.7	5	5	3	0	0
	15:00	16	139	6.92	24.5	11	9	2	30	226	7.14	24.3	7	7	2	2	0
	17:00	33	211	7.05	23.4	15	10	2	46	245	7.14	23.1	10	10	6	4	0

	19:00	16	142	692	22.4	11	8	9	43	238	7.12	22.7		9	6	3
	22:00	19	137	683	21.9	22	17	5	63	259	7.07	21.6		14	11	3
18/06/96	1:00	15	99	6.9	21.1	19	14	5	32	103	7.06	21.3		11	9	4
	4:00	25	98	6.93	20.4	24	12	12	43	130	7.14	20.4		24	12	12
	7:00	27	84	6.94	19.4	16	13	3	41	122	7.13	19.4		10	9	11
	9:00	31	120	7.14	21	25	16	6	39	167	7.36	20.6		8	7	13
	11:00	39	140	7.26	23.5	19	17	2	52	142	7.45	23.3		10	10	0
	13:00	34	114	7.21	23.7	19	18	5	47	261	7.4	23.6		13	11	2
	15:00	40	224	7.27	24.6	18	14	5	36	168	7.42	24.6		10	9	1
	17:00	24	167	7.19	22.4	19	13	6	29	155	7.36	22		12	11	1
	19:00	20	143	7.1	21.9	16	19	6	19	121	7.31	22		6	4	2
	22:00	21	166	7.16	21	18	19	9	31	148	7.4	21		21	20	7
19/06/96	1:00	26	140	7.18	20.2	24	19	5	22	121	7.28	19.8		15	12	3
	5:00															

Fecha	Hora	Influyente							Efluente								
		Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
18/06/96	1:30	Inicio de carrera															
	4:30	41	142	7.15	19.7	21	19	3	59	256	7.55	19.8	10	10	12	0	
	7:00	16	116	7.16	19.7	17	2	15	46	167	7.38	19.7	6	6	2	4	
	9:00	21	161	7.15	21.1	20	15	5	35	189	7.54	21.4	11	9	2		
	11:00	18.7	72	7.28	22.8	29	15	5	160	41	7.37	22.5	10	8	1		
	13:00	30	235	7.21	22.9	19	18	5	30	226	7.4	23.3	13	11	2		
	15:00	39	126	7.13	23.6	24	19	4	21	191	7.33	23.5	14	12	2		
	17:00	30	191	7.17	22.7	19	20	3	51	213	7.37	22	19	18	1		
	19:00	27	158	7.19	21.5	18	19	7	21	174	7.41	21.7	17	16	11		
	22:00	30	161	7.13	20.5	19	25	5	63	166	7.4	20.4	17	14	3		
20/06/96	1:00	9	174	7.17	20.2	10	23	7	42	155	7.34	20.1	19	15	4		
	4:30	31	162	7.05	19.4	24	15	9	41	155	7.39	19.6	16	12	4		
	7:00	14	119	7.25	19.1	26	20	8	40	144	7.36	18.4	13	10	3		
	9:00	20	114	7.16	20.1	28	13	2	23	126	7.24	20	15	6	2		
	11:00	20	124	7.16	20.4	19	14	3	30	136	7.32	20.7	14	7	3		
	13:00	32	173	7.32	21.3	13	14	3	37	165	7.35	23.9	13	11	2		
	15:00	46	202	7.24	24.2	16	16	7	45	185	7.37	24.2	26	23	3		
	17:00	38	213	7.08	22	15	22	4	32	163	7.32	22	26	22	4		
	19:00	44	238	7.2	21.5	14	30	128	7.33	21.6	8	6	2				
	22:00	42	121	7.14	20.7	24	14	9	26	105	7.29	20.7	7	7	0		
21/06/96	1:00	22	131	6.94	19.1	17	13	4	32	99	7.11	19.7	7	7	0		
	4:00	35	132	7.18	18.1	14	9	10	42	119	7.16	18.3	5	7	1		
	8:30	Fin de carrera															

Fecha	Hora	Influyente							Efluente								
		Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
24/06/96	1:30	Inicio de carrera															
	13:30	53	246	7.21	24.4	20	17	3	11	241	7.36	24	12	8	4		
	13:30	54	237	7.21	23.3	20	20	5	99	474	7.45	24.1	14	11	3		
	14:00	30	111	7.19	23.7	19	22	8	110	411	7.42	23.8	16	11	5		
	14:30	37	156	7.14	23.2	16	16	12	98	25	7.36	23.8	17	11	6		
	15:00	69	208	7.23	21.4	15	20	10	114	419	7.48	21.2	19	12	7		
	17:30	76	182	7.06	19.1	14	24	7	162	264	7.51	20.7	11	9	3		
	20:00	21	112	7.23	21.4	20	13	2	76	179	7.45	21.4	14	11	3		
25/06/96	1:00	19	164	7.1	21.7	17	15	6	42	162	7.48	21.4	13	10	3		
	4:00	16	136	7.05	20.7	25	13	11	25	168	7.49	20.9	14	9	5		
	7:30	25	132	7.34	19.9	23	23	2	41	204	7.6	20.1	11	11	0		
	9:30	25	114	7.11	21.1	19	21	2	29	161	7.52	21.1	11	11	0		
	11:30	14	140	7.08	20.8	19	21	2	61	188	7.15	21.8	8	6	2		
	13:30	13	171	7.1	19.5	18	17	1	21	209	7.16	24.1	7	6	1		
	16:00	19	151	7.32	24.1	17	23	1	39	230	7.51	24.2	12	11	2		
	16:45	Inicio de carrera Electrica															
	17:30	61	224	7.14	21.1	17	25	6	61	391	7.61	21.1	37	13	4		
	18:00	30	152	7.06	21.1	17	23	4	85	202	7.67	21.6	9	9	0		
	20:30	25	140	7.06	21	16	15	6	28	120	7.39	21.2	9	7	2		
26/06/96	1:30	14	111	7.18	21.2	11	12	1	28	138	7.33	20.8	15	15	0		
	4:00	20	141	7.22	20.7	17	14	4	31	147	7.41	20.5	7	6	1		
	5:30	Fin de carrera															

Fecha	Hora	Influyente								Efluente								
		Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	
26/05/06	6:30	Inicio de carrera																
	6:55	28	135	7.31	20.4		27	21	6	56	214	2.47	20		13	12	1	
	7:05	45	114	7.32	20.1		17	16	1	137	294	2.61	20.3		48	45	3	
	7:15	63	241	7.30	21.9		42	36	4	85	273	2.59	22.1		19	15	4	
	7:25	48	292	7.53	21.8		35	25	7	82	262	2.51	21.5		20	14	6	
	7:35	48	265	7.3	21.3		32	26	6	81	304	2.52	21.1		38	19	19	
	7:45	32	163	7.36	21.6		41	27	14	69	344	2.64	21.5		22	18	4	
	7:55	42	243	7.36	21.6		23	21	8	61	324	2.93	20.5		13	11	2	
	22:05	24	150	7.34	20.9		22	16	8	54	210	2.66	21.1		13	11	2	
	27:00:06	1:00	24	172	7.27	22.1		21	15	6	42	211	2.54	20.8		12	9	3
	4:00	37	183	7.32	18.5		21	14	7	41	195	2.52	18.3		12	9	3	
	5:30	Fin de carrera																

Fecha	Hora	Influyente								Efluente								
		Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	
27/05/06	6:30	Inicio de carrera																
	7:00	24	163	7.23	18.9		25	16	9	49	190	2.48	19.9		14	10	4	
	7:15	23	134	7.25	18.2		21	17	5	37	167	2.46	19.1		12	14	3	
	7:30	23	184	7.07	18.9		22	25	5	21	221	2.23	19.9		16	15	1	
	7:45	25	138	7.24	21.4		24	22	6	33	128	2.52	21.6		16	15	1	
	7:55	35	167	7.26	21		24	20	4	66	180	2.63	22.2		16	13	3	
	8:05	56	221	7.38	21.9		24	19	5	74	213	2.63	21.7		20	16	4	
	8:15	31	190	7.56	21.6		26	20	6	41	273	2.78	21.4		15	13	2	
	19:00	43	205	7.55	21.3		22	21	11	52	316	2.82	20.9		13	12	1	
	22:30	35	248	7.21	19.7		22	15	2	35	293	2.37	19.7		21	13	8	
	28:00:06	1:00	37	203	7.15	18.2		21	20	13	30	142	2.37	19.4		19	17	7
	4:00	44	240	7.11	17		21	14	11	50	291	2.29	17.5		20	18	7	
7:00	38	204	7.04	19.4		21	15	11	46	218	2.38	19.1		27	16	11		
7:30	Fin de carrera																	

Fecha	Hora	Influyente								Efluente							
		Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
10/06/06	12:30	Inicio de carrera															
	13:00	33	234	7.05	22.1		14	14	11	74	293	2.26	21.9		14	10	4
	13:45	29	178	7.02	21.8		29	25	9	46	243	2.23	21.7		12	10	2
	14:30	30	194	7.01	21.1		25	19	8	45	247	2.2	20.8		12	9	4
	15:15	30	417	6.99	20.7		25	17	6	46	243	2.2	20.7		11	8	3
	16:00	22	227	7.06	19.9		28	28	0	58	221	2.36	19.1		10	6	4
	16:45	24	189	7.04	19.1		28	21	12	73	254	2.41	19.2		15	9	6
	17:30	30	182	7.05	19.1		28	21	8	65	254	2.41	19		17	11	6
	18:15	41	226	7.16	18		18	13	12	62	256	2.45	17.3		17	13	4
	19:00	43	227	7.68	18.2		18	17	0	53	231	2.23	18.6		16	15	0
	19:45	61	217	7.15	21.1		24	22	2	97	313	2.47	21.7		14	11	3
	20:30	28	194	7.15	22		20	15	5	42	217	2.33	22.1		5		
21:15	31	196	7.11	21.1		24	17	2	41	206	2.31	22.3		14	12	2	
22:00	33	193	7.20	20.9		20	19	6	37	177	2.33	22.8		12	11	1	
22:45	22	194	7.20	20.9		20	16	10	32	193	2.33	22.8		16	12	4	
23:30	22	184	7.20	20.9		20	15	7	24	141	2.33	19.5		14	11	3	
00:15	27	179	7.18	19.8		24	22	16	47	179	19.2	21.1		11	9	2	
01:00	25	180	7.19	18.9		20	14	8	36	180	18.1	20.5		25	27	3	
01:45	22	183	7.18	18.3		22	19	9	37	189	18.5	19.9		13	9	4	
02:30	23	186	7.19	18.5		22	14	8	51	204	19.6	19.2		12	10	2	
03:15	24	223	7.19	21.9		21	19	15	55	236	22.1	21.1		14	14	2	
04:00	32	232	7.24	21.4		21	17	11	67	289	23.2	21.2		15	12	3	
04:45	36	209	7.23	21		21	16	7	72	325	22.9	21.4		14	14	6	
05:30	51	212	7.19	21.9		21	18	3	82	223	21.7	21.7		14	10	2	
06:00	Fin de carrera																

Foto del equipo de muestreo

Fecha	Hora	Influyente								Efluente										
		Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l			
16/7/96	19:30	Falso de equipo de medición																		
	22:00	33	153		19.2		26	19	6	65	212		20					0		
	16/7/96	1:00	43	163		18.1		21	13	8	55	210		19.3				5	2	
		4:00	43	172		15.6		24	21	13	65	208		18.9				13	11	2
		7:00	29	126		17		13	5	8	52	208		17.6				7	8	
		9:00	20	158		16.6		14	13	11	23	164		19.2				9	6	3
		11:00	23	181		22.8		19	15	4	29	150		21.1				11	8	1
		13:00	31	215		22.7		13	16	3	31	210						10	10	0
		15:00	47	324		22.6		17	19	10	63	295		22.4				14	11	1
		17:00	46	275		23.8		21	15	6	51	210		23.4				13	11	2
		19:00	23	175		21.4		19	13	16	31	181		21.3				14	11	3
		22:00	26	133		22.4		20	22	6	47	178		20.2				15	13	2

Falso de equipo de medición

Fecha	Hora	Influyente								Efluente										
		Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l			
16/7/96	16:30	Falso de cartera																		
	19:00	61	269		21.2		17	21	0	81	258		21.1				15	13	2	
	22:00	62	245		20.1		20	22	3	84	304		20.1				22	6	9	
	16/7/96	1:00	32	136		19.1		21	20	5	56	229		19.7				18	12	6
		4:00	31	192		18.1		21	18	5	59	189		18.4				15	11	4
		7:00	31	162		17.6		13	19	14	32	197		17.5				14	10	4
		9:00	26	220		19.5		14	13	46	185		19.3					13	10	1
		11:00	48	215		21.6		21	19	10	18	158		21.7				11	11	1
		13:00	33	200		21.5		14	21	11	32	259		23.4				14	11	3
		15:00	27	266		23.9		13	13	5	24	265		23.8				12	10	2
		17:00	23	192		22.7		16	16	0	50	244		22.8				10	9	1
		19:00	37	212		21.6		13	23	7	59	247		21.6				14	12	2
22:00		28	223		21.2		15	23	5	51	233		21.1				13	11	2	
16/7/96	1:00	33	223		22.4		17	20	9	53	243		19.8				13	10	0	

4.45 Falso cartera

Fecha	Hora	Influyente								Efluente									
		Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l		
16/7/96	5:30	Falso de cartera																	
	8:30	49	215		19.1		14	21	8	61	259		19.8				12	12	3
	8:30	49	246		17.1		16	21	5	63	281		19.5				18	15	3
	7:00	46	243		19.6		21	13	10	59	245		19.7				15	12	3
	9:00	47	311		20.5		17	20	7	62	261		20.7				19	19	0
	11:00	46	229		22.7		23	22	3	51	350		22.7				18	14	4
	13:00	74	315		24.5		19	32	9	50	320		24.2				19	15	4
	15:00	43	260		24.4		26	30	6	53	240		24.1				20	14	6
	17:00	15	232		24.5		26	18	2	36	213		24.4				21	9	3
	19:00	29	192		23.2		21	30	2	25	242		23.1				6		
	22:00	31	242		20.9		24	15	5	43	281		21.3				7	7	0
	16/7/96	1:00	44	262		22.1		14	16	7	37	206		20.8				12	9

Fecha	Hora	Influyente								Efluente									
		Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbidez UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l		
16/7/96	1:30	Falso de cartera																	
	2:30	30	228		19.1		14	26	10	26	181		20.0				15	13	2
	2:30	34	217		19.8		20	20	5	29	177		20.6				13	12	1
	4:00	38	220		19.7		16	26	12	41	235		20.2				9	9	0
	7:00	47	264		19.3		49	26	23	38	228		19.8				17	14	3
	9:00	50	291		20.8		17	25	12	35	199		21				21	16	6
	11:00	49	277		22.9		13	36	20	104	610		23				25	44	43
	13:00	65	199		24.3		14	35	19	56	243		24.7				28	22	6
	15:00	73	280		24.5		11	23	10	56	265		24.5				25	16	9
	17:00	42	264		24.2		18	28	12	39	245		24.1				21	17	4

17:00 Fin de carrera
 La semana del 16 al 22 de Julio no trabajó la planta por tener problemas con el transformador

AUMENTO DE LA VELOCIDAD A 12 m/h

Fecha	Hora	Influyente						Efluente									
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
23/07/96	9:30	Inicio de carrera															
	10:00	62	185		20.9		11	9	4	50	181		21.5		7	4	3
	10:30	39	195		21.8		11	11	4	49	203		21.9		5	5	0
	11:30	39	205		22.9		21	15	6	55	207		22.4		11	8	3
	13:00	32	235		23.6		29	19	19	62	230		23.7		29	16	14
	15:00	35	255		24		29	29	9	78	432		24.1		31	16	13
	17:00	24	140		21.5		35	24	11	95	345		21.3		25	12	8
24/07/96	1:00	47	156		19.7		31	24	7	35	363		20.1		23	14	6
	5:00	41	224		18.1		24	15	9	139	405		18		14	11	3
	5:30	Fin de carrera															

Fecha	Hora	Influyente						Efluente									
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
24/07/96	8:00	Inicio de carrera															
	8:30	80	318		18.7		26	18	10	131	449		19		9	7	2
	9:00	56	314		18.8		26	15	8	131	420		19		16	13	1
	9:30	39	280		16.8		31	23	8	70	555		20		54	36	18
	11:00	45	270		21.6		30	21	9	81	330		21.4		24	21	3
	13:00	84	348		22.9		4	27	15	83	335		22.9		22	17	5
	15:00	78	347		25.9		16	24	11	84	315		24.6		20	12	3
	17:00	48	324		24.6		34	27	11	81	270		24.1		16	14	2
	18:45	Fin de carrera															

*Lectura tomada con sonda pH/FIX-D-14

Fecha	Hora	Influyente						Efluente									
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
24/07/96	17:00	Inicio de carrera															
	17:30	40	407		22		41	28	13	68	263		21.9		13	12	1
	21:00	62	353		19		33	21	11	72	286		18.9		18	16	2
25/07/96	1:00	71	347		19.2		35	19	11	97	354		18.5		16	13	3
	5:00	102	400		19.6		32	15	11	79	293		19.5		16	10	6
	9:00	41	206		15.7		34	18	16	45	207		18.8		23	14	9
	11:00	47	282		20.6		36	25	11	65	463		20.4		21	15	6
	13:30	75	314		22.8		63	35	17	144	540		22.8		30	23	7
	14:15	Fin de carrera															

Fecha	Hora	Influyente						Efluente									
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l
30/07/96	10:30	Inicio de carrera															
	10:15	54	2641		20.1		27	19	8	68	294		19.6		4	6	2
	11:00	52	266		20.5		9			78	323		21.2		9	7	2
	12:40	Corte de la energía eléctrica															
	13:50	Restablecimiento de la energía															
	14:00	32	237.1		22.3		13	24	8	94	402		22.8		19	14	5
	17:00	17	212		21.4		7	28	8	63	303		20.4		19	15	4
	18:00	31	193		21.1		57	21	8	53	278		20.5		12	13	5
	22:00	66	279		18.3		19	19	25	73	357		19.9		18	14	4
31/07/96	1:00	37	180		17		24	12	12	16	93		17.3		12	9	3
	5:00	37	177		17					45	162		17.2				
	10:15	Corte de energía															
	11:05	Restablecimiento de la energía															
	13:00	28	134		21.4		10	13	17	20	89		21.2		10	10	5
	15:30	27	183		22.7		16	16	0	38	183		21.1		7		
	17:00	57	219		22.1		22	15	5	61	325		21.5		11	9	2
	18:30	Fin de carrera															

AUMENTO DE VELOCIDAD A 1m/h

Fecha	Hora	Influyente								Efluente								
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSP mg/l	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSP mg/l	
11/07/06	19:30	Paso de carreta																
	21:00	48	223		18.9		37	21	14	57	200		19		15	12	3	
	10/08/06	1:00	51	221		16.9		24	15	9	65	199		16.8		22	14	8
	5:00	34	168		16.8		37	14	23	22	91		16.6		14	9	4	
	9:00	22	110		18.1		37	21	10	14	99		16.5		9	6	3	
	11:00	27	139		20.5		23	10	13	15	50		20.4		11	6	5	
	13:00	21	166		21.6		63	30	33	25	159		21.4		14	10	4	
	15:00	27	156		24		37	23	14	22	162		22.5		14	11	3	
	16:45	Corte de la cometa eléctrica Frio de carreta																

Fecha	Hora	Influyente								Efluente								
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSP mg/l	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSP mg/l	
10/08/06	19:00	Paso de carreta																
	19:30	36	211		19.9					41	181		20.2					
	2:00	37	225		19.9					43	18.9		20.3					
	2:00	42	214		16.9		24	20	4	49	199		16.9		18	15	3	
	2:00	45	191		18.3					37	15.9		19.2					
	10/08/06	1:00	66	242		17.2		19	17	2	30	134		16.5		15	10	5
	3:00	50	190		18.7					27	109		18.4					
	5:00	85	294		15.4		21	18	3	40	119		15.5		7	4	3	
	7:00	42	171		16.9		20	12	8	24	120		17.6		9	8	1	
	9:30	103	449		17.6		37	23	17	47	207		18		14	11	3	
11:00	59	410		18.1		28	21	7	36	191		18.4		11	10	1		
13:00	33	201		21		23	16	6	30	154		22		9	8	1		
14:00	37	208		22.4		19	16	4	24	175		21.6		10	8	2		
14:00	Impresión de la cometa eléctrica Frio de carreta																	

Fecha	Hora	Influyente								Efluente							
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSP mg/l	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSP mg/l
08/08/06	13:30	Paso de carreta															
	14:00	61	323		24		20	19	3	20	119		22.4		18	16	2
	14:30	59	281		24.7		26	15	10	62	120		23.6		20	19	1
	15:00	40	298		26.6		19	13	1	62	104		24.9		18	16	2
	17:00	62	196		24		17	15	2	95	4.96		23.8		18	15	3
	21:00	25	253		20		20	16	4	4	300		20		17	12	5
	21:00	20	199		18.2		18	17	1	1	189		19.1		14	11	3
	10/08/06	1:00	210	210		19.1		22	15	7	248		19.3		21	13	8
	3:00	163	185		18.8		23	15	7	2	225		19.2		18	13	5
	5:00	103	220		17.4		14	8	6	3	320		18		10	8	3
7:00	43	264		17		16	14	2	41	196		17.2		14	12	2	
9:00	42	250		17		11	14	1	29	417		17		13	13	0	
9:10	Paso de carreta																

Fecha	Hora	Influyente								Efluente								
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSP mg/l	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSP mg/l	
10/08/06	12:30	Paso de carreta																
	13:00	62	318		22.6		42	29	13	89	278		22.3		27	21	6	
	16:00	39	197		24.9		41	15	21	64	278		22.7		34	22	12	
	17:00	72	321		21.7		41	11	18	80	269		20.7		38	24	14	
	19:00	91	298		22.4		21	16	3	71	214		22		23	16	4	
	21:00	61	264		20.1		20	16	3	68	285		20		23	16	4	
	21:00	61	315		20.1		44	30	14	95	307		20.3		22	17	5	
	08/08/06	1:00	63	301		20.2		19	19	6	69	243		20.3		21	18	3
		3:00	77	315		19.2		19	16	3	24	280		20.3		18	16	2
		5:00	42	210		19.7		19	16	2	63	242		19.5		16	14	2
7:00		46	224		17		27	17	2	59	250		17.8		17	5	12	
9:00		41	224		19.9		31	27	4	44	368		20.1		19	17	2	
11:00		56	301		21.3		43	32	19	53	274		21.2		22	16	7	
11:00		Paso de carreta																

Fecha	Hora	Influyente						Efluente									
		Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSP mg/l	Turbiedad UTM	Color Pt-Co	pH	Temp	Transmitt %	SST mg/l	SSV mg/l	SSP mg/l
2007/06	11:50	Fin de carrera															
	12:30	52	246		23.2		19	18	1	86	396		22.3		17	13	4
	13:00	44	242		22.4		31	29	11	51	469		22.1		25	15	7
	15:30	68	258		20.8		102	74	28	61	329		23.3		51	33	21
	17:00	95	451		22.4		93	54	45	101	373		21.9		62	36	26
	19:00	46	220		19.2		14	61	63	63	254		19		37	27	12
	21:00	45	236		20.7		47	26	21	59	256		20.7		44	26	18
	23:00	342	1906		20		446	185	158	143	513		20.4		52	32	22
2007/06	1:00	109	491		19.4		150	70	80	134	436		19.3		116	58	28
	2:00	Fin de carrera															

ANEXO C

ANEXO C: BIT ACORA FILTRO FUZZ (2ª ETAPA)

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/h	COMPRES	Presion	Inflante						Efluyente							
						turbidez FTU	Color PCCo	pH	Temp	Transm %	SST mg/L	SSV mg/L	SSF mg/L	turbidez FTU	Color PCCo	pH	Temp	Transm %	SST mg/L
11:00	20	216	20																
11:05	20	216	20			62	214	8.08	21.6	41				20	221	8.12	22.9		17
11:10	20	216	20																
11:15	20	216	20			31	227	8.07	23.4	22	17	5	22	189	8.03	23.3		18	
11:20	20	216	20			42	226	8.06	23.4	22	23	15	22	196	7.98	23		22	
11:25	20	216	20			28	227	8.05	23.4	22	23	15	22	196	8.03	23.3		18	
11:30	20	216	20			37	230	8.05	25.4	22	27	7	20	215	8.04	24.4		19	
11:35	20	216	20			30	227	8.03	25.2	37	26	11	26	244	8.12	26.5	2	15	
11:40	20	216	20			41	226	8.03	25.1	45	23	2	20	219	8.04	23.7	3	22	
11:45	20	216	20			31	225	8.03	25.8	41	27	4	20	214	8.07	23.7	3	11	
11:50	20	216	20			33	221		24				20	197	8.22	23.8	2	14	

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/h	COMPRES	Presion	Inflante						Efluyente							
						turbidez FTU	Color PCCo	pH	Temp	Transm %	SST mg/L	SSV mg/L	SSF mg/L	turbidez FTU	Color PCCo	pH	Temp	Transm %	SST mg/L
9:45	20	216	20																
9:50	20	216	20			25	221	8.02	24.6	29	19	10							
9:55	20	216	20			28	214	8.01	25.2	28	18	10							
10:00	20	216	20			33	219	7.99	25.1	28	18	10	32	219	7.98	24.8	5	15	
10:05	20	216	20			39	221	8.01	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
10:10	20	216	20			39	221	8.01	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
10:15	20	216	20			39	221	8.01	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
10:20	20	216	20			39	221	8.01	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
10:25	20	216	20			39	221	8.01	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
10:30	20	216	20			39	221	8.01	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
10:35	20	216	20			39	221	8.01	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
10:40	20	216	20			39	221	8.01	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
10:45	20	216	20			39	221	8.01	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
10:50	20	216	20			39	221	8.01	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/h	COMPRES	Presion	Inflante						Efluyente							
						turbidez FTU	Color PCCo	pH	Temp	Transm %	SST mg/L	SSV mg/L	SSF mg/L	turbidez FTU	Color PCCo	pH	Temp	Transm %	SST mg/L
10:45	20	216	20																
10:50	20	216	20			53	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		
10:55	20	216	20			52	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		
11:00	20	216	20			53	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		
11:05	20	216	20			53	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		
11:10	20	216	20			53	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		
11:15	20	216	20			53	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		
11:20	20	216	20			53	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		
11:25	20	216	20			53	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		
11:30	20	216	20			53	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		
11:35	20	216	20			53	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		
11:40	20	216	20			53	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		
11:45	20	216	20			53	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		
11:50	20	216	20			53	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		
11:55	20	216	20			53	224	8.25	25.9	25	18	10	32	200	8.28	25.6	2		

Mano de obra: 1 persona
Materiales: 10 kg de cloro

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/h	COMPRES	Presion	Inflante						Efluyente							
						turbidez FTU	Color PCCo	pH	Temp	Transm %	SST mg/L	SSV mg/L	SSF mg/L	turbidez FTU	Color PCCo	pH	Temp	Transm %	SST mg/L
11:30																			
11:35						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
11:40						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
11:45						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
11:50						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
11:55						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
12:00						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
12:05						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
12:10						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
12:15						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
12:20						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
12:25						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
12:30						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
12:35						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
12:40						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
12:45						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
12:50						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
12:55						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
13:00						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
13:05						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
13:10						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
13:15						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
13:20						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
13:25						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
13:30						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
13:35						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
13:40						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
13:45						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
13:50						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
13:55						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
14:00						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	

Mano de obra: 1 persona

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/h	COMPRES	Presion	Inflante						Efluyente							
						turbidez FTU	Color PCCo	pH	Temp	Transm %	SST mg/L	SSV mg/L	SSF mg/L	turbidez FTU	Color PCCo	pH	Temp	Transm %	SST mg/L
13:45																			
13:50						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
13:55						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
14:00						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
14:05						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
14:10						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
14:15						30	214	7.99	25.1	28	18	10	32	231	7.97	25.8	3	15	
14:20						30	21												

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/s	COMPRES	Presion	Efluente							Efluente									
						turbidid UTA	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BSI mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	turbidid UTA	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BSI mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	
LIMPIEZA																						
14/03																						
15/03						33	48	7.5	7.9	7.7	1	78	28	32	50	1.8	8.7	23.5	4	45	33	10
16/03						22	30	7.6	8.1	7.7	1	56	37	32	42	2.2	8.2	23.6	6	26	16	4
16/03						51	48	8.0	8.1	7.4	0	54	16	16	63	8.4	26.6	6	23	20	3	
17/03						100	44	8.0	8.0	7.5	0	41	32	11	36	2.4	8.2	26.8	6	26	23	6
18/03						100	36	8.0	8.0	7.5	1	30	28	12	40	2.6	8.0	23.8	6	26	23	2
19/03						100	28	8.0	8.0	7.4	1	29	28	12	38	2.6	8.0	23	8	26	23	2
20/03						47	33	7.9	7.9	7.5	1	40			45	2.4	8.1	24.3	6	26		

20/03/06 10:00:00

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/s	COMPRES	Presion	Efluente							Efluente									
						turbidid UTA	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BSI mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	turbidid UTA	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BSI mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	
LIMPIEZA																						
15/03																						
15/03						32	31	7.1	8.1	7.1	4	36	36	6	26	2.2	8.0	23.9	6	16	15	1
15/03						66	41	7.6	8.1	7.2	4	29	16	6	29	1.7	8.2	24.4	4	37	30	1
Efluente de la planta																						
16/03						50	50	7.6	8.3	7.2	1	30	29	9	37	2.0	8.2	24.6	2	37	28	2
17/03						50	52	7.6	8.3	7.2	1	29	29	11	41	2.0	8.2	24.7	2	27	21	1
18/03						50	50	7.6	8.3	7.2	1	29	28	11	42	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1
19/03						51	48	7.6	8.3	7.2	1	31	28	12	40	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1
20/03						51	48	7.6	8.3	7.2	1	31	28	12	40	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/s	COMPRES	Presion	Efluente							Efluente									
						turbidid UTA	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BSI mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	turbidid UTA	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BSI mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	
LIMPIEZA																						
15/03																						
15/03						32	46	7.7	8.1	7.1	4	36	36	7	26	2.2	8.0	23.9	6	16	15	1
15/03						66	41	7.6	8.1	7.2	4	29	16	6	29	1.7	8.2	24.4	4	37	30	1
Efluente de la planta																						
16/03						50	50	7.6	8.3	7.2	1	30	29	9	37	2.0	8.2	24.6	2	37	28	2
17/03						50	52	7.6	8.3	7.2	1	29	29	11	41	2.0	8.2	24.7	2	27	21	1
18/03						50	50	7.6	8.3	7.2	1	29	28	11	42	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1
19/03						51	48	7.6	8.3	7.2	1	31	28	12	40	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1
20/03						51	48	7.6	8.3	7.2	1	31	28	12	40	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1

19/03/06 10:00:00

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/s	COMPRES	Presion	Efluente							Efluente									
						turbidid UTA	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BSI mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	turbidid UTA	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BSI mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	
LIMPIEZA																						
15/03																						
15/03						32	46	7.7	8.1	7.1	4	36	36	7	26	2.2	8.0	23.9	6	16	15	1
15/03						66	41	7.6	8.1	7.2	4	29	16	6	29	1.7	8.2	24.4	4	37	30	1
Efluente de la planta																						
16/03						50	50	7.6	8.3	7.2	1	30	29	9	37	2.0	8.2	24.6	2	37	28	2
17/03						50	52	7.6	8.3	7.2	1	29	29	11	41	2.0	8.2	24.7	2	27	21	1
18/03						50	50	7.6	8.3	7.2	1	29	28	11	42	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1
19/03						51	48	7.6	8.3	7.2	1	31	28	12	40	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1
20/03						51	48	7.6	8.3	7.2	1	31	28	12	40	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/s	COMPRES	Presion	Efluente							Efluente									
						turbidid UTA	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BSI mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	turbidid UTA	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BSI mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	
LIMPIEZA																						
15/03																						
15/03						32	46	7.7	8.1	7.1	4	36	36	7	26	2.2	8.0	23.9	6	16	15	1
15/03						66	41	7.6	8.1	7.2	4	29	16	6	29	1.7	8.2	24.4	4	37	30	1
Efluente de la planta																						
16/03						50	50	7.6	8.3	7.2	1	30	29	9	37	2.0	8.2	24.6	2	37	28	2
17/03						50	52	7.6	8.3	7.2	1	29	29	11	41	2.0	8.2	24.7	2	27	21	1
18/03						50	50	7.6	8.3	7.2	1	29	28	11	42	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1
19/03						51	48	7.6	8.3	7.2	1	31	28	12	40	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1
20/03						51	48	7.6	8.3	7.2	1	31	28	12	40	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/s	COMPRES	Presion	Efluente							Efluente									
						turbidid UTA	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BSI mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	turbidid UTA	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BSI mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	
LIMPIEZA																						
15/03																						
15/03						32	46	7.7	8.1	7.1	4	36	36	7	26	2.2	8.0	23.9	6	16	15	1
15/03						66	41	7.6	8.1	7.2	4	29	16	6	29	1.7	8.2	24.4	4	37	30	1
Efluente de la planta																						
16/03						50	50	7.6	8.3	7.2	1	30	29	9	37	2.0	8.2	24.6	2	37	28	2
17/03						50	52	7.6	8.3	7.2	1	29	29	11	41	2.0	8.2	24.7	2	27	21	1
18/03						50	50	7.6	8.3	7.2	1	29	28	11	42	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1
19/03						51	48	7.6	8.3	7.2	1	31	28	12	40	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1
20/03						51	48	7.6	8.3	7.2	1	31	28	12	40	2.0	8.2	24.8	2	27	21	1

15(1)	BO	85.20	20	130	50	221	7.38	219		24	19	5	91	231	75	218		19	16	4
17(1)	BO	85.20	20	126	31	180	7.56	216		25	20	6	88	267	761	215		11	16	5
19(1)	BO	85.20	20	120	11	226	7.66	213		21	11	11	82	323	786	212		26	18	7
21(1)	BO	85.20	20	119	8	238	7.71	211		21	11	11	80	438	738	212		21	11	9

Fecha	Hora	CARGO gpm	VELOC m/h	COMPRES %	Presion	Inflante						Efluyente									
						Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl	Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl
24/10	1(1)	BO	85.20	20	116	11	221	7.45	211		11	20	13	87	370	747	211		25	11	11
	4(1)	BO	85.20	20	112	11	207	7.10	210		11	19	11	88	431	731	211		21	11	11
	7(1)	BO	85.20	20	115	8	234	7.60	211		11	11	11	82	425	734	211		21	11	11
	9(1)	BO	85.20	20	116	11	238	7.71	211		11	20	13	82	328	737	211		26	11	11
	10(1)	BO	85.20	20	116	11	238	7.71	211		11	20	13	82	328	737	211		26	11	11

Fecha	Hora	CARGO gpm	VELOC m/h	COMPRES %	Presion	Inflante						Efluyente									
						Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl	Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl
24/10	11(1)	BO	85.20	20	116	11	238	7.71	211		11	20	13	82	328	737	211		26	11	11
	12(1)	BO	85.20	20	116	11	238	7.71	211		11	20	13	82	328	737	211		26	11	11
	14(1)	BO	85.20	20	116	11	238	7.71	211		11	20	13	82	328	737	211		26	11	11
	15(1)	BO	85.20	20	116	11	238	7.71	211		11	20	13	82	328	737	211		26	11	11
	17(1)	BO	85.20	20	116	11	238	7.71	211		11	20	13	82	328	737	211		26	11	11
	19(1)	BO	85.20	20	116	11	238	7.71	211		11	20	13	82	328	737	211		26	11	11
	21(1)	BO	85.20	20	116	11	238	7.71	211		11	20	13	82	328	737	211		26	11	11

Fecha	Hora	CARGO gpm	VELOC m/h	COMPRES %	Presion	Inflante						Efluyente									
						Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl	Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl
26/10	1(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	4(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	7(1)	BO	85.20	20	116	11	220	7.50	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	9(1)	BO	85.20	20	116	11	220	7.50	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	11(1)	BO	85.20	20	116	11	220	7.50	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	13(1)	BO	85.20	20	116	11	220	7.50	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	15(1)	BO	85.20	20	116	11	220	7.50	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	17(1)	BO	85.20	20	116	11	220	7.50	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	19(1)	BO	85.20	20	116	11	220	7.50	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	21(1)	BO	85.20	20	116	11	220	7.50	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8

Fecha	Hora	CARGO gpm	VELOC m/h	COMPRES %	Presion	Inflante						Efluyente									
						Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl	Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl
27/10	11(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	11(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	13(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	15(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	17(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	19(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	21(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8

Fecha	Hora	CARGO gpm	VELOC m/h	COMPRES %	Presion	Inflante						Efluyente									
						Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl	Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl
28/10	1(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	4(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	7(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	9(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	11(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	13(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	15(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	17(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	19(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	21(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8

Fecha	Hora	CARGO gpm	VELOC m/h	COMPRES %	Presion	Inflante						Efluyente									
						Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl	Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl
28/10	11(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	12(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	13(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	14(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	15(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	17(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	19(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	21(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8

Fecha	Hora	CARGO gpm	VELOC m/h	COMPRES %	Presion	Inflante						Efluyente									
						Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl	Tuberías 1/8"	Color P.Co	pH	Temp	Transm %	BST mgl	SSV mgl	SSF mgl
28/10	1(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	4(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	7(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	9(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8
	11(1)	BO	85.20	20	116	11	192	7.10	212		11	21	12	81	248	724	214		12	11	8

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/h	COMPRES	Presion	Influenza						Etierna								
						Turbidid UTR	Color P.C.C.	pH	Temp	Transm %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbidid UTR	Color P.C.C.	pH	Temp	Transm %	SST mg/l	SSV mg/l
20/10	21:15			2150	0.24	130	418		18.7	21	15	9	113	292		18.8		56	49	6
	21:25			2150	0.21	116	442		19.9	20	15	5	98	336		18.9		16	13	3
	21:35			2150	0.21	105	340		19.5	23	15	4	95	348		19.2		27	17	5
20/10	21:35			2150	0.16	87	336		19	23	16	7	97	325		19.4		16	15	4
	21:40			2150	0.18	64	312		18.7	20	14	8	98	348		18.8		15	12	4
	21:45			2150	0.21	77	344		17.9	22	17	5	87	326		18.9		15	11	4
21:50			2150	0.18	77	344		18	22	17	5	87	326		18.9		15	11	4	
21:55			2150	0.18	77	344		18	22	17	5	87	326		18.9		15	11	4	
22:00				2150	0.17	77	344		18	22	17	5	87	326		18.9		15	11	4
22:05				2150	0.16	66	312		18.3	21	14	8	110	307		20.8		25	19	6
22:10				2150	0.17	77	344		18.1	21	14	8	111	311		20.3		20	16	4
22:15				2150	0.16	66	312		18.3	21	14	8	111	311		20.3		20	16	4

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/h	COMPRES	Presion	Influenza						Etierna								
						Turbidid UTR	Color P.C.C.	pH	Temp	Transm %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbidid UTR	Color P.C.C.	pH	Temp	Transm %	SST mg/l	SSV mg/l
20/10	19:20			2150	0.17	62	284		18.5	21	13	3	105	314		19.1		19		
	19:30			2150	0.17	61	287		18.7	20	13	3	105	314		19.2		12		
	19:40			2150	0.21	57	295		18.1	20	13	3	105	314		20.1		12		
20/10	19:48			2150	0.19	57	295		18.3	20	13	3	105	314		20.1		12		
	19:58			2150	0.19	57	295		18.3	20	13	3	105	314		20.1		12		
	20:08			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12		
20/10	20:18			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12		
	20:28			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12		
	20:38			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12		
20:48			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12			
20:58			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12			
21:08				2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12		
21:18				2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12		
21:28				2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12		

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/h	COMPRES	Presion	Influenza						Etierna								
						Turbidid UTR	Color P.C.C.	pH	Temp	Transm %	SST mg/l	SSV mg/l	SSF mg/l	Turbidid UTR	Color P.C.C.	pH	Temp	Transm %	SST mg/l	SSV mg/l
20/10	11:50			2150	0.21	60	304		18.1	21	13	3	105	314		19.1		11	8	3
	12:00			2150	0.17	57	295		18.7	20	13	3	105	314		19.2		12	8	3
	12:10			2150	0.17	57	295		18.7	20	13	3	105	314		19.2		12	8	3
20/10	12:20			2150	0.19	58	298		18.3	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3
	12:30			2150	0.19	58	298		18.3	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3
	12:40			2150	0.19	58	298		18.3	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3
20/10	12:50			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3
	13:00			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3
	13:10			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3
13:20			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
13:30			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
13:40			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
13:50			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
14:00			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
14:10			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
14:20			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
14:30			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
14:40			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
14:50			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
15:00			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
15:10			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
15:20			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
15:30			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
15:40			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
15:50			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
16:00			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
16:10			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
16:20			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
16:30			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
16:40			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
16:50			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
17:00			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
17:10			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
17:20			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
17:30			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
17:40			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
17:50			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
18:00			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
18:10			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
18:20			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
18:30			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
18:40			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
18:50			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1		12	8	3	
19:00			2150	0.17	58	298		18.5	20	13	3	105	314		20.1	</				

Fecha	Hora	GASTO gpm	VELOC m/h	COMPRES %	Presion	Influente						Efluente					
						Turbid UTB	Color P.Co	pH	Temp	Temper %	BST mg/L	SSV mg/L	SSF mg/L	Turbid UTB	Color P.Co	pH	Temp
LEBIA	3:10	2150	0.19	80	30	10.2	20	50	7	125	40	18	20	15	5		
	4:10	2150	0.18	83	20	10.1	24	20	4	27	200	20	18	15	3		
	5:10	2150	0.18	81	240	18.9	20	15	1	87	206	188	15	12	3		
	7:10	2150	0.19	87	314	18	27	19	3	87	206	188	15	12	3		
	9:10	2150	0.21	45	300	19.2	25	20	4	64	300	184	14	12	2		
	13:10	2150	0.26	88	240	19.1	40	22	18	87	313	229	31	21	10		
	17:10	2150	0.22	82	318	14	17	15	2	101	316	238	14	12	2		
	21:10	2150	0.23	80	250	15	20	16	3	121	311	195	12	10	2		
	23:20	2150	0.26	86	240	19.1	19	17	1	11	321	155	12	10	2		
	TRIEG	1:10	2150	0.20	120	19.1	22	15	7	316	194	17	9	8			
3:10	2150	0.06	187	18	18	23	15	7	247	193	16	10	6				
5:10	2150	0.06	174	17	14	8	6	6	311	18	10	9	1				
7:10	2150	0.06	171	17	14	8	6	6	311	18	10	9	1				
7:50	en Secura	2150	0.06	171	17	14	8	6	311	18	10	9	1				

Fecha	hora	GASTO gpm	VELOC m/h	COMPRES %	Presion	Influente						Efluente					
						Turbid UTB	Color P.Co	pH	Temp	Temper %	BST mg/L	SSV mg/L	SSF mg/L	Turbid UTB	Color P.Co	pH	Temp
TRIEG	12:10	2150	0.19	87	318	22.6	27	22	13	50	267	228	21	16	5		
	13:10	2150	0.2	75	307	23.2	21	33	21	87	247	234	34	22	12		
	14:10	2150	0.22	75	311	21.4	40	33	20	93	188	111	31	15	15		
	14:40	2150	0.21	81	208	22.1	21	18	1	61	267	133	21	11	4		
	21:10	2150	0.25	87	251	22.1	27	18	3	115	311	221	25	19	4		
	23:10	2150	0.28	81	317	20.1	41	30	14	62	246	203	20	15	4		
	TRIEG	1:10	2150	0.24	80	263	21.3	20	12	6	70	303	203	18	16	2	
	3:10	2150	0.24	77	315	19.2	18	15	2	115	275	203	15	13	2		
	5:10	2150	0.25	85	312	18.9	18	16	2	115	303	184	10	12	4		
	7:10	2150	0.7	85	224	17	22	15	7	87	111	173	13	8	5		
9:10	2150	0.75	41	221	15.2	31	27	1	60	318	20	18	15	2			
11:10	2150	0.8	66	311	21.1	53	5	19	81	315	219	22	15	7			
13:10	2150	0.85	41	316	22.4	33	29	11	78	373	223	9	12	5			
15:10	2150	0.88	68	316	22.8	101	51	26	115	476	46	40	51	17			
17:10	2150	0.86	86	271	22.4	30	24	6	150	311	221	11	10	51			
19:10	2150	0.86	54	410	19.2	18	16	2	120	476	194	11	10	51			

Fecha	hora	GASTO gpm	VELOC m/h	COMPRES %	Presion	Influente						Efluente					
						Turbid UTB	Color P.Co	pH	Temp	Temper %	BST mg/L	SSV mg/L	SSF mg/L	Turbid UTB	Color P.Co	pH	Temp
SABIA	1:10	2150	0.26	80	310	17.4	111	56	78	115	118	175	154	88	88		
	3:10	2150	0.25	89	311	18.1	30	12	12	154	111	167	95	54	46		
	5:10	2150	0.26	75	310	17.6	111	110	17	111	173	173	203	54	106		
	5:40	2150	0.27	114	310	17.9	111	110	17	173	190	181	140	88	80		

Fecha	hora	GASTO gpm	VELOC m/h	COMPRES %	Presion	Influente						Efluente					
						Turbid UTB	Color P.Co	pH	Temp	Temper %	BST mg/L	SSV mg/L	SSF mg/L	Turbid UTB	Color P.Co	pH	Temp
TRIEG	17:30	2150	0.25	81	251	20.2	27	18	3	115	311	221	25	19	4		
	18:30	2150	0.25	81	251	20.2	27	18	3	115	311	221	25	19	4		
	19:30	2150	0.25	81	251	20.2	27	18	3	115	311	221	25	19	4		
	21:30	2150	0.25	81	251	20.2	27	18	3	115	311	221	25	19	4		
	23:30	2150	0.25	81	251	20.2	27	18	3	115	311	221	25	19	4		
	TRIEG	1:10	2150	0.25	81	251	20.2	27	18	3	115	311	221	25	19	4	
3:10	2150	0.25	81	251	20.2	27	18	3	115	311	221	25	19	4			
5:10	2150	0.25	81	251	20.2	27	18	3	115	311	221	25	19	4			