

Library

255.1 92EX



Cinara
CENTRO INTER-REGIONAL DE
ABASTECIMIENTO Y REMOCION DE AGUA
Cali - Colombia

ETH
Eidgenössische
Technische Hochschule
Zurich, Schweiz

IRCWD
International Reference
Center for Waste Disposal
Dübendorf, Switzerland

LIBRARY
UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY
LIBRARY OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND
SANITATION
WATER COURSE AND
SANITATION

Pasantía Realizada en CINARA como Parte de la Capacitación
en Ingeniería Sanitaria y Ambiental que Ofrece el
Swiss Federal Institute of Technology

Experiencia Colombiana con el Filtro Grueso Dinámico, su Operación y Mantenimiento

Roger Pfammatter



Call, Colombia
Octubre 1992

SDC
Swiss Development
Cooperation


Universidad
del Valle


Ministerio de Salud
de Colombia

255.1-92EX-11272

Prefacio

El presente reporte es resultado de una pasantía de dos meses en el Centro Inter-Regional de Abastecimiento y Remoción de Agua (CINARA) en Cali, Colombia, la cual fue ofrecida como parte del entrenamiento en el estudio de ingeniería sanitaria y ambiental en el 'Swiss Federal Institute of Technology (ETH)' de Zurich, Suiza. La realización se facilitó gracias a la colaboración de esta Universidad a través del 'International Reference Center for Waste Disposal (IRCWD)' y CINARA, con el apoyo financiero de la 'Swiss Development Cooperation (SDC)'.

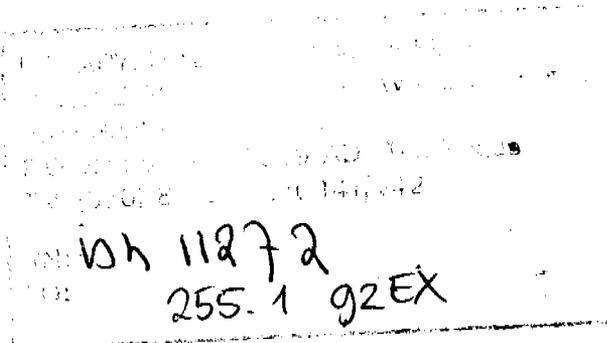
Quería dar mis agradecimientos a todo el equipo de CINARA, y en particular al personal de la Estación de Investigación en Puerto Mallarino, el cual con su apoyo hizo posible la investigación y la realización de este documento: Fabiola Berón, por su apoyo tanto técnico como humano y la revisión del reporte; Noél Muñoz, Albeiro Mostacilla, María del Carmen Gonzáles, Carlos Villalobos y Giovanni Becerra, por la realización de los análisis; Pámela Ocampo, por su apoyo químico; Alexander Olave, por las mediciones en Puerto Mallarino; Martha Vázquez quien hizo todas las tablas de este reporte; María del Pilar Marín, por organizarme el tiempo en el computador; Maribel Pineda, por su apoyo administrativo; Alberto Galvis que aumentó la eficacia de mi trabajo, llevándome algunas veces en su carro; Nubia Mosquera y Jovanna Fernández quienes me trajeron siempre el café; y a todos los demás que me brindaron su colaboración.

Especialmente quería mencionar a Javier Fernández, el cual además de coordinar todos los asuntos de la pasantía, con sus comentarios constructivos y la revisión del presente reporte contribuyó mucho en este trabajo. Muchas Gracias.

Al fin quería agradecer a Luis Alfonso Hurtado y Gloria Amparo Ocampo por su hospitalidad generosa durante los dos meses.

Octubre 1992
Cali, Colombia

Roger Pfammatter



para Javier

Tabla de contenido

Prefacio

1. Introducción	1
2. Situación de agua potable y saneamiento básico en Colombia	2
3. CINARA y su esquema de acción	3
4. Experiencia en el mejoramiento de la calidad de agua	5
5. Filtro Grueso Dinámico	7
5.1 Desarrollo de la tecnología	7
5.2 Descripción y funcionamiento	7
5.3 Clasificación y diseño	8
5.4 Eficacia de remoción de contaminantes	10
5.5 Operación & mantenimiento	12
6. Investigación en operación & mantenimiento del FGD _i	14
6.1 Objetivos	14
6.2 Metodología	14
6.2.1 Filtros de investigación	14
6.2.2 Mediciones	16
6.2.3 Programa de mediciones	18
6.3 Presentación y discusión de los resultados	20
6.3.1 La carrera del FGD _i	20
6.3.2 Influencia de las operaciones del fontanero	21
6.3.3 Eficacia de la limpieza superficial	23
6.3.4 Eficacia de remoción en función del tiempo	23
6.3.5 Influencia de un incremento rápido de turbiedad	26
6.3.6 Influencia de las capas del lecho	28
6.4 Conclusiones	30
7. Comentario final	31

Referencias

Anexo

- A1 Datos de las carreras del FGD_i de la Planta Piloto
- A2 Datos del seguimiento de un incremento rápido de turbiedad
- A3 Datos de las carreras del FGD_i de La Javeriana

1. Introducción

Las altas inversiones necesarias para el aprovechamiento de agua subterránea o simplemente su falta obliga a Colombia a aprovechar sus fuentes superficiales para el abastecimiento de agua para el consumo humano. Infortunadamente, por el uso inadecuado de las cuencas con problemas de deforestación y erosión y por la falta de tratamiento de las aguas residuales, la calidad del agua de los ríos y quebradas se empeora día a día y hace más difícil la potabilización. Los altos contenidos de sólidos suspendidos en las épocas de lluvia y la contaminación con coliformes fecales hacen encarecer el valor de los procesos de tratamiento.

Hasta ahora, la mayoría del agua potable abastecida en Colombia está tratada mediante sistemas convencionales (floculación, coagulación, filtración rápida), un proceso costoso y delicado, que puede servir en las grandes ciudades, pero que podría fallar en el sector rural. Especialmente para este sector y los pequeños municipios se buscan tecnologías más sencillas y de bajo costo, que pueden ser operados por residentes locales. En este sentido, la Filtración Lenta en Arena (FLA) es reconocida como excelente alternativa económica, tanto en países industrializados como en países en vía de desarrollo. La tecnología es sencilla, confiable y altamente eficiente. Sin embargo, su vulnerabilidad a aguas con turbiedades superiores a 10 o 20 UNT (unidades nephelométricas) y altos valores de sólidos suspendidos (5 mg/l) respectivamente, hacía necesario el desarrollo de diferentes métodos de pretratamiento mediante Filtración Gruesa (FG). Pero a pesar de estas alternativas, las grandes cantidades de sólidos suspendidos transportados en los ríos colombianos durante la época de lluvia todavía causaron problemas en la operación y el mantenimiento, inclusive en las unidades de filtración gruesa. En consecuencia se inició en Colombia el desarrollo del Filtro Grueso Dinámico (FGDi) como sistema de protección para la FLA y la etapa de pretratamiento.

Este reporte presenta, después de dar un corto resumen de la situación de agua potable en Colombia y de la experiencia en el mejoramiento de la calidad de agua, la experiencia colombiana con la tecnología de la Filtración Gruesa Dinámica y resume las investigaciones en su operación y mantenimiento, realizadas por el autor durante la pasantía en la Estación de Investigación y Transferencia de Tecnología de CINARA en Puerto Mallarino, Cali.

2. Situación de agua potable y saneamiento básico en Colombia

Colombia tiene, con excepción de algunas cuencas hidrográficas, suficiente agua para atender las necesidades de todos sus habitantes. Sin embargo, las coberturas de acueducto y alcantarillado son muy bajas y se estiman en 66% y 51% respectivamente; esto quiere decir, que cerca de 11 millones de colombianos carecen del servicio domiciliario de acueducto y 16 millones no cuentan con conexión al alcantarillado!

Como muestra la tabla 1 hay diferencias significativas en las diferentes regiones del país. Mientras en las grandes ciudades la cobertura alcanza el 90%, en la zona rural solo el 24% tiene servicio de acueducto. [1]

	1985			1990		
	Población	Acued.	Alcant.	Población	Acued.	Alcant.
4 Grandes Ciudades	7'986.049	89.3%	82.0%	8'946.790	94.0%	86.9%
Capit. y Ciud. > 10 ⁵ Hab.	5'467.883	71.4%	63.3%	6'497.357	80.0%	74.8%
Resto Zona Urbana	6'175.124	82.3%	63.5%	7'214.718	83.2%	51.4%
Zona Rural	10'433.751	12.1%	2.4%	10'825.088	23.7%	8.0%
Total	30'062.807	57.8%	47.1%	33'483.953	66.2%	51.4%

Tasas de Crecimiento Poblacional

Grandes Ciudades	2.29%
Capit. y Ciud. > 10 ⁵	3.33%
Resto Zona Urbana	3.51%
Zona Rural	0.74%

Costo per Cápita 1991

Zona Urbana	
Acueducto	80 \$US
Alcantarillado	64 \$US
Zona Rural	
Acueducto	57.6 \$US
Alcantarillado	51.8 \$US

Tabla 1: Cobertura de acueducto y alcantarillado por viviendas conectadas en Colombia [2]

Las cifras parecen más graves todavía, sabiendo que el servicio de acueducto no significa automáticamente servicio de agua potable: al fin del decenio pasado, sólo el 52% de los sistemas disponían de algún tipo de tratamiento, en la zona rural no llegaban ni al 4%!

Este hecho y los problemas de la contaminación de las fuentes superficiales, unidos con la falta de vigilancia y del control de la calidad del agua representan un grave riesgo sanitario para los consumidores, con consecuencias negativas para la salud pública, la cual es un factor muy importante para la calidad de vida y el desarrollo de un país.

Según el plan de ajuste 1991-94 del Departamento Nacional de Planeación de Colombia [1], los problemas mencionados en el sector de agua potable son causados por las 'dificultades de orden técnico y financiero y la pobre gestión de los responsables (...)'. En su diagnóstico amplio, el departamento formuló también los objetivos del presente período: la reestructuración de las instituciones del sector y la aumentación necesaria de la cobertura; además reclama que todo el agua entregada a la comunidad sea potable!

3. CINARA y su esquema de acción

El Centro Inter-Regional de Abastecimiento y Remoción de Agua (CINARA) es una fundación sin ánimo de lucro, surgida en el seno de la Universidad del Valle en Cali, con la cual mantiene una cooperación académica e investigativa. El centro ahora está en proceso de consolidarse como un recurso al servicio de los municipios, con base en un trabajo coordinado con diferentes instituciones a nivel local, departamental, nacional e internacional. [2]

El objetivo primordial del centro es hacer más eficientes y equitativas las inversiones en el sector de agua potable y saneamiento básico, con énfasis en el sector rural y en el pequeño municipio. Una de las líneas de trabajo de CINARA se orienta al mejoramiento de la calidad del agua en sistemas de abastecimiento, la cual incluye varios proyectos de investigación. La experiencia de CINARA permite afirmar, que no es suficiente de obtener y propagar resultados académicos, así sean de buena calidad, para que sean automáticamente bien aplicados; sobre todo si se tiene en cuenta la pobre infraestructura y la limitada capacidad de pago disponible en el sector rural.

Consecuentemente, el esquema de acción del centro se compone de tres etapas. En la etapa de investigación se realizan los materiales o experimentos para evaluar la propuesta tecnológica que se desea promover. En la etapa de desarrollo los resultados obtenidos se consideran a escala real, incluyendo aspectos socio-económicos y culturales. Y en la etapa de transferencia se promueve el aprovechamiento de los resultados en diferentes regiones de Colombia. [2]

Para lograr sus objetivos, CINARA dispone de un equipo de alrededor 90 empleados de diferentes disciplinas como ingeniería sanitaria, ingeniería civil, biología, química, sociología etc., distribuidos en dos sedes, una localizada en la Universidad del Valle, mientras que la otra, denominada Estación de Investigación y Transferencia de Tecnología, está ubicada en predios de la Planta de Tratamiento de Empresas Municipales de Cali, en Puerto Mallarino. La Estación está dotada con infraestructura para investigación y desarrollo de Tecnología, y se complementa con la implementación de proyectos integrados de investigación y demostración, que permiten al centro la evaluación en unidades a escala real, teniendo en cuenta aspectos como el sostenimiento y la aceptación socio-económica. La siguiente figura muestra la localización de Cali y de algunas plantas.

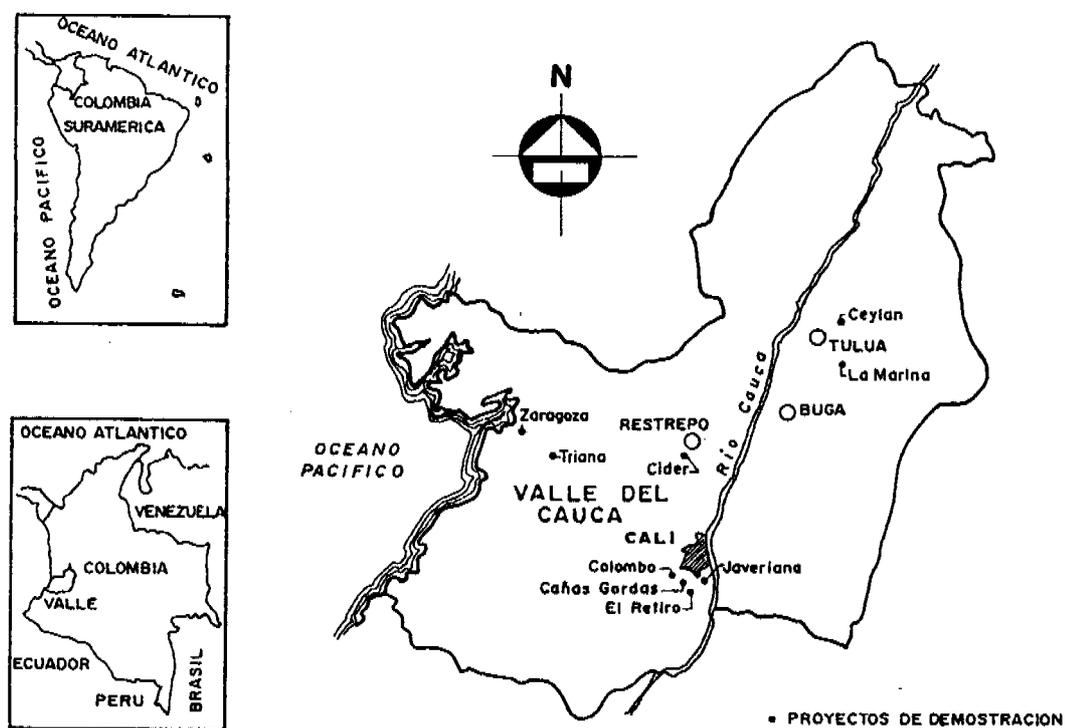


Figura 1: Localización del Departamento del Valle del Cauca y de las plantas de demostración e investigación de CINARA [3]

4. Experiencia en el mejoramiento de la calidad de agua

Claramente, uno de los objetivos principales en el sector de agua potable en Colombia debe ser, desarrollar y promover una tecnología para la potabilización de agua que sea sencilla, eficiente y de bajo costo, para que la población también en el sector rural puede ser abastecida con agua potable, de bajo riesgo sanitario.

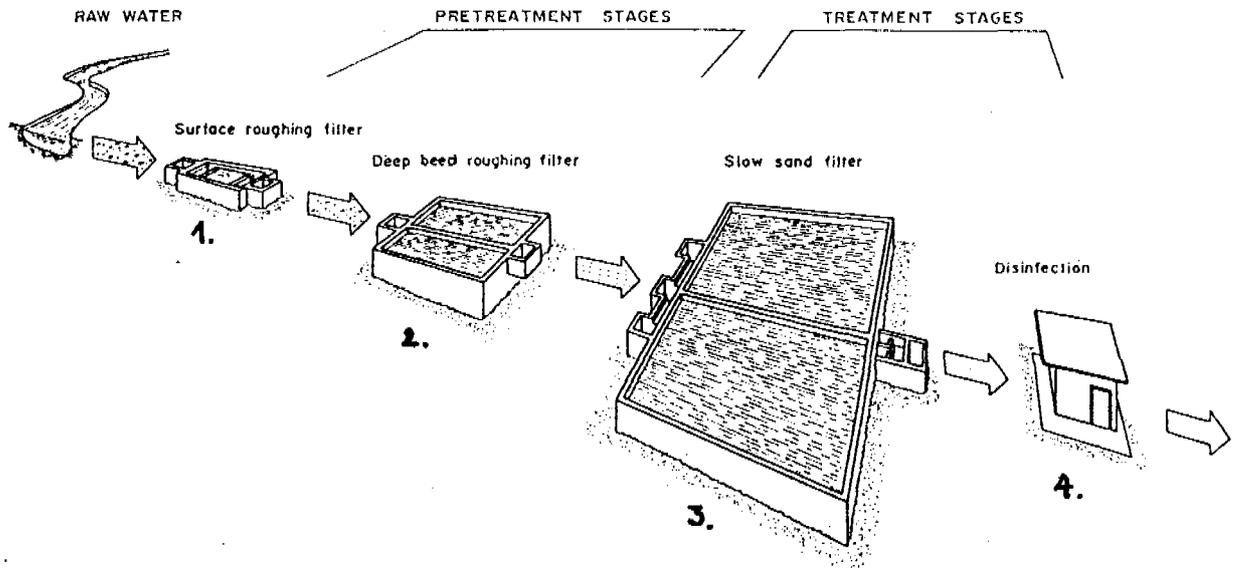
Consecuentemente, CINARA está investigando desde hace varios años en diferentes técnicas de pretratamiento mediante Filtración Gruesa, con el objetivo de sobreponerse a las limitaciones de la Filtración Lenta en Arena frente a turbiedades encima de 10 UNT, para posibilitar también en Colombia la aplicación más extensa de esta excelente alternativa de potabilización.

En el centro de la búsqueda está el concepto multi-barrera, lo cual tiene ya una larga historia y también está aplicado en ciudades europeas como Londres, Amsterdam y Zurich. Según este concepto, se debe tener más de una etapa de tratamiento para producir agua apta para el consumo humano. Juntas, las etapas remueven progresivamente los contaminantes del agua cruda y producen un efluente potable. Idealmente, ya antes de la etapa final se debe obtener agua de bajo riesgo sanitario, la cual está entonces funcionando como barrera de seguridad. Sin dejar por supuesto que la primera 'barrera' de cada sistema de tratamiento debe ser la protección de la fuente misma.

En la selección de soluciones tecnológicas para las diferentes barreras, se toman en cuenta tres aspectos básicos:

- Evaluación del riesgo sanitario asociado con la fuente del agua cruda
- Identificación de las diferentes etapas de pretratamiento y su mejor combinación posible
- Verificación del sostenimiento a largo plazo, con base en la capacidad de pago y en el nivel técnico de la comunidad rural

Según las experiencias de CINARA con base en los resultados de las investigaciones amplias sobre diferentes métodos de pretratamiento ([4],[5]), cada sistema de tratamiento debe comprender cuatro etapas diferentes con los siguientes procesos:



1. Etapa de Acondicionamiento:
como pre-pretratamiento; hasta recién una sedimentación simple que ahora está reemplazado por un Filtro Grueso Dinámico
2. Unidad de Filtración Gruesa:
como pretratamiento; principalmente del tipo flujo ascendente, aunque se incluyen también Filtros Horizontales
3. Unidad de FLA:
como proceso principal en el tratamiento
4. Etapa de desinfección:
como barrera de seguridad; normalmente mediante la aplicación de cloro con dosis bajas y constantes

Figura 2: Las etapas del tratamiento según el concepto multi-barrera [11]

Bajo las condiciones que se presentan en el Valle del río Cauca, este sistema, la combinación de Filtración Lenta en Arena y Filtros Gruesos, ha demostrado de ser muy efectiva en producir un efluente apta para el consumo humano que requiere de la desinfección únicamente como barrera de seguridad. Es una tecnología sencilla que puede ser operada por residentes locales, incluso de baja escolaridad que permitirá reducir los costos de inversión manteniendo la eficiencia del sistema de tratamiento.[3]

A continuación, el reporte se concentra en el Filtro Grueso Dinámico, como parte de este sistema de multi-barrera.

5. Filtro Grueso Dinámico (FGDi)

En los siguientes capítulos se presenta un resumen del estado actual de la tecnología de la Filtración Gruesa Dinámica.

5.1 Desarrollo de la tecnología

El desarrollo de la primera aproximación a los FGDi's se originó en la necesidad de controlar el desperdicio en la demanda de agua, para lo cual era necesario proteger los medidores frente a partículas que podrían causar obstrucción. Resultó un sistema que consiste en un filtro construido directamente en el lecho del río o de la quebrada, con los siguientes componentes: un dique; un lecho de grava, ubicado antes del dique; y un sistema de drenaje. El diseño quería aprovechar la velocidad de la corriente de la fuente para el autolavado de la superficie, pero mostró sus limitaciones de operación y mantenimiento en la época de lluvia, cuando una gran parte de la grava fue arrastrada por la corriente. Actualmente existen en la zona rural del departamento del Cauca más de 80 de estos sistemas, conocidos como 'Captaciones de Lecho Filtrante'.

Esta experiencia unida con la necesidad de un sistema de protección para los FLA motivó años después el diseño y la construcción de una nueva versión de estos filtros, aprovechando también las experiencias hechas en Argentina con la Filtración Lenta Dinámica. CINARA empezó investigaciones amplias, identificando las posibilidades y limitaciones de esta tecnología en el proceso de tratamiento ([5],[6]). Actualmente la tecnología sirve bajo el nombre de 'Filtración Gruesa Dinámica' como primera barrera muy efectiva en el sistema que se describió en el capítulo anterior. Sin embargo, aunque ya existen experiencias amplias con los FGDi's tanto a escala piloto como a escala real, CINARA continua las investigaciones para resolver inquietudes en el diseño y en la operación y el mantenimiento, algunas de las cuales van a ser mencionadas a continuación.

5.2 Descripción y funcionamiento del filtro

La figura 3 muestra una visión global de un Filtro Grueso Dinámico, como está actualmente utilizado por CINARA. Los componentes del sistema son: la estructura de entrada; el compartimiento principal, compuesto de un lecho filtrante y un sistema de drenaje; la estructura de exceso y desagüe y la estructura de salida:

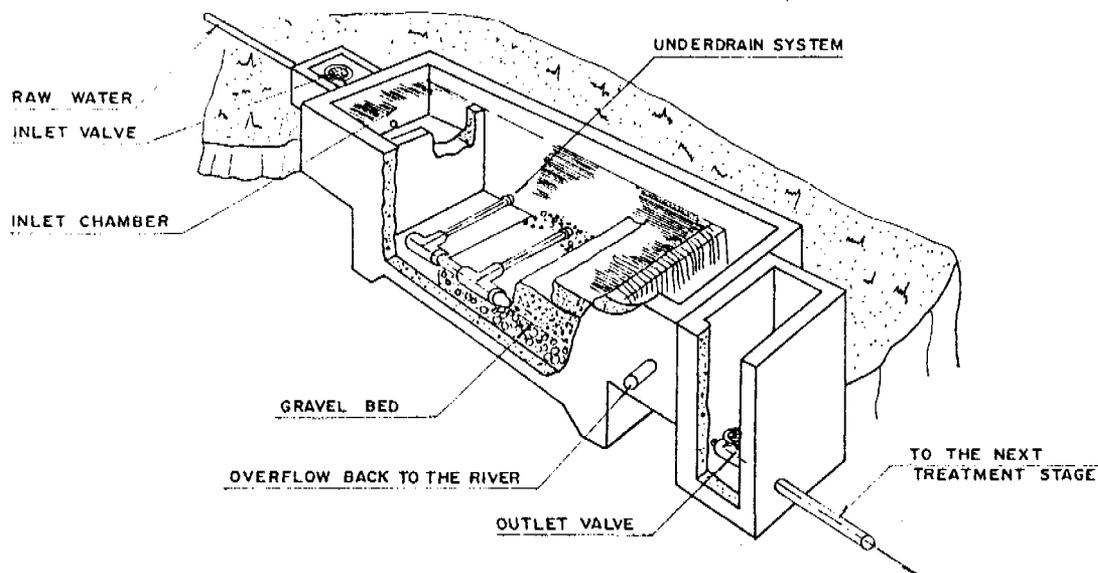


Figura 3: Esquema general del Filtro Grueso Dinámico [6]

El caudal captado en la fuente es normalmente distribuido en dos flujos. Una parte del caudal es filtrando a través del lecho y alimenta -después de ser acondicionado en el filtro- las siguientes etapas de tratamiento, mientras la otra parte barre la superficie del lecho y sale de la unidad, regresando al río.

La diferencia más importante entre el Filtro Dinámico y otros tipos de Filtros Gruesos es que su lecho filtrante está gradado de fino en la capa superior a grueso en el fondo; este diseño se origina en el papel primordial de los FGDí's, el proteger del sistema de tratamiento frente a altos valores de sólidos. Esta disposición del lecho permite colmatar más rápidamente el filtro y hace en consecuencia declinar el caudal acondicionado y es por eso muy efectiva en la protección de las siguientes etapas. Claramente es necesario lavar el filtro cada vez que los valores altos de turbiedad y sólidos provocaron la obstrucción del lecho. Sin embargo, como la colmatación se presenta principalmente en los primeros centímetros del filtro, el lavado se hace fácilmente rastrillando la superficie (véase cap. 5.5).

La capacidad de declinar más o menos bruscamente el caudal filtrado es lo que ha dado el nombre **Dinámico** a este filtro.

5.3 Clasificación y diseño

Según el papel principal que debe cumplir el filtro y dependiendo de la calidad del agua cruda, se pueden diferenciar los dos siguientes tipos de FGDí's; los criterios preliminares de diseño actualmente recomendados de CINARA son resumidos en tabla 2 [6]:

- El primer tipo se utiliza para fuentes con un valor alto de sólidos. El filtro reduce principalmente este contenido para proteger las siguientes etapas del tratamiento. Sin embargo, por la baja velocidad en la cual es operado, este tipo logra también remociones sorprendentes de parámetros como turbiedad y coliformes fecales (véase cap. 5.4) y muestra que los Dinámicos no únicamente sirven como sistema de protección, sino también como primera etapa en el proceso del mejoramiento de la calidad del agua.
- El segundo tipo se utiliza para fuentes que regularmente transportan pocos sólidos pero que presentan picos muy pronunciados. El filtro se opera con una velocidad más alta y funciona como una 'válvula automática', cerrándose rápidamente en caso de altos valores de sólidos suspendidos en el agua cruda, evitando que los picos lleguen a las siguientes etapas. Claramente, la alta velocidad de filtración evita la remoción amplia y permanente de otros contaminantes, pero eso ya no es la función principal del filtro.

PARAMETRO DE DISEÑO	Papel principal del FGD	
	Tipo 1	Tipo 2
	mejorar la calidad de agua	eliminar picos de sólidos
Velocidad de filtración [m/h]	1 - 3	3 ~ 5
Tamaño de grava [mm]/ espesor de la capa [m]		
Superior	3,0 - 5,0/ 0,2	1,5 - 3,0/ 0,2
Intermedio	5,0 - 15,0/ 0,2	3,0 - 5,0/ 0,1
Inferior	15,0 - 25,0/ 0,2	5,0 - 15,0 / 0,1
Profundidad total del lecho [m]	0,6	0,4
Velocidad superficial [m/h]	0,05 - 0,15	< 0,05

Tabla 2: Criterios preliminares de diseño para los FGDí's [6]

Los criterios para el tipo 1 basen en experiencias amplias y han dado buen resultado; sin embargo, CINARA está desarrollando ahora investigaciones con el objetivo de reducir la profundidad del lecho

a 0.4 m (véase cap. 5.5 y 6). En cambio las recomendaciones para el tipo 2 se presentan de manera preliminar, debido a la poca experiencia en su uso.

5.4 Eficacia de remoción de contaminantes

Tabla 3 presenta la eficacia de remoción en sólidos suspendidos, turbiedad, coliformes fecales y color real de tres FGD_i's del tipo 1, operados con velocidades entre 1-3 m/h, con el mismo lecho. Los resultados son consecuencia de investigaciones amplias, realizadas por CINARA entre Enero 1991 y Junio 1992 en unidades a escala piloto en la Estación en Puerto Mallarino, Cali [7]. Los porcentajes de remoción han sido determinados para los promedios de los contaminantes del río Cauca, un típico río de valle colombiano, lo cual alimenta la planta de investigación.

Periodo	Sitio	Velocidad de filtración [m/h]	Sólidos Prom [mg/l]	Susp. Remoc [%]	Turbiedad Prom. [UNT]	Remoc [%]	Coli Prom [UFC/100ml]	fec. Remoc [%]	Color Prom [UPC]	real Remo [%]
II	agua cruda		191		105		43		71	
	FGDA	1,0	44	77	57	45	19	56	59	17
	FGDB	1,5	70	63	66	37	14	67	64	10
	FGDC	2,0	77	60	67	36	28	36	60	16
III	agua cruda		97		58		31		53	
	FGDA	2,0	24	74	34	42	8	74	46	13
	FGDR	1,5	19	80	32	46	7	77	46	13
	FGDC	3,0	29	71	36	39	13	60	46	13
IV	agua cruda		61		54		89		35	
	FGDA	2,0	15	75	32	42	23	74	31	11
	FGDB	1,5	14	78	30	44	20	78	31	11
	FGDC	3,0	17	72	33	39	33	63	31	11

Tabla 3: Eficacia de remoción de contaminantes del FGD_i en unidades a escala piloto. Enero 91 - Junio 92. Los resultados basen para cada carrera aproximadamente en 400 datos de turbiedad y 40 datos para los demás parámetros.

Sin embargo, todos los Dinámicos muestran eficacias sorprendentes; principalmente son muy eficaz en la remoción de sólidos suspendidos con valores entre el 60% y el 80%, pero adicionalmente remueven una gran parte de la turbiedad y de los coliformes fecales con eficacias de 30%-40% y 40%-75% respectivamente. En cambio la capacidad en la eliminación del color real no llega ni al 20%.

Con el motivo de verificar estos resultados a escala real, CINARA realizó investigaciones en diferentes plantas de demostración en el Departamento del Valle del Cauca. Tabla 4 resume los resultados obtenidos para tres Dinámicos que forman parte de plantas, todos alimentadas de una derivación del río Pance, un río típico de ladera. De nuevo, las remociones se refieren al promedio de la contaminación en el período de Octubre 1991 - Junio 1992. Dos de los filtros son del tipo 1 (Javeriana y Retiro) con velocidades de filtración de 1.5 m/h, mientras un filtro es del tipo 2, operado con 9 m/h (!).

Planta	Velocidad de filtración [m/h]	Turbiedad		Sólidos suspend		Coliformes fec		Color real	
		Prom a.c [UNT]	remoc. [%]	Prom a.c [mg/l]	remoc. [%]	Prom a.c [UFC/100 ml]	remoc [%]	Prom [UPC]	remoc [%]
La javeriana	1,5	18	44	13	57	5315	49	23	13
Retiro	1,5	-	-	14	78	3690	61	23	13
Cañas gordas	9,0	11	24	10	31	6269	35	19	7

Tabla 4: Eficacia de remoción de contaminantes del FGD_i en unidades a escala real. Oct.91-Jun.92. Los resultados basen en aproximadamente 110 datos de color real, turbiedad y coliformes fecales y en 80 datos de sólidos suspendidos.

Contra toda previsión, las eficacias llegan casi al mismo valor que resultó a escala piloto! En cambio el filtro que está operado con la velocidad alta queda en su capacidad de reducción para todos los parámetros por debajo de 30%; pero, como ya fue mencionado, este tipo está diseñado para colmatarse rápidamente y no para mejorar la calidad del agua permanentemente.

De todos modos, los resultados presentados muestran que el FGD_i, además de ser una barrera de protección, presenta una capacidad de remover contaminantes que no debe ser subestimado.

5.5 Operación y mantenimiento

La tecnología del FGD_i es sencilla y no requiere de elementos sofisticados ni de personal especializado para su ejecución. Pero sin duda, el buen funcionamiento del filtro depende fundamentalmente del operador y de su manera de operar y manejar el sistema. Su trabajo incluye tres aspectos básicos, los cuales son caracterizados brevemente a continuación [6]:

Control de la velocidad superficial

Con la velocidad superficial se debe tener mucho cuidado, ya que no puede ser tan alta que el material filtrante sea arrastrado, ni tan baja que no permite el lavado. Principalmente esta velocidad es un parámetro (muy importante) del diseño; pero también un factor de la operación, lo cual puede ser controlado mediante el caudal captado o regulando el nivel del agua sobre el lecho mediante una estructura movable que se coloca en el muro a la salida.

Control del caudal filtrado

Durante el proceso de la filtración, el caudal va disminuyendo, debido a la colmatación del lecho; su velocidad de variación depende de la calidad del agua cruda y del tipo del FGD_i. Como normalmente no se desea dejar declinar el caudal filtrado durante una carrera, es muy importante su control mediante una válvula en la estructura de salida que permite compensar la creciente pérdida de carga. El operador puede ir abriendo la válvula gradualmente, controlando que hay efluente constante. Claramente se necesita un sistema de medición de flujo como por ejemplo el vertedero triangular.

Limpieza del filtro

Cuando el caudal filtrado disminuye tanto que ni con abrir esta válvula alcanza para abastecer la planta, el operador realiza la limpieza de la superficie del lecho filtrante, la cual presenta por ser la más fina la mayor colmatación. Los instrumentos con los cuales se realiza este trabajo periódico son muy sencillos y consisten en un rastrillo y una pala. Después de cerrar la válvula que controla el caudal filtrado, se necesita aumentar el caudal captado y así la velocidad superficial para permitir el arrastre de los sólidos durante el lavado. Rastrillando la superficie del lecho se logra resuspender objetos que se han sedimentado durante la carrera de filtración y mezclando los primeros 20 centímetros con la pala, se resuspenden los sólidos retenidos. Cuando se termina esta labor, se nivela la superficie del lecho y se ajusta el caudal captado y el caudal filtrado.

Hasta ahora, CINARA recomienda preliminarmente de realizar esta limpieza una vez en la semana durante el período seco, mientras en la época de lluvia la frecuencia puede aumentar hasta dos o tres veces por semana, dependiendo de la calidad del agua cruda.

La visita a varias plantas de demostración (ver fig.1) mostró que a escala real todavía existen inquietudes importantes en la operación de los FGDí's. Es así como los operadores dedican una gran parte de su tiempo en la planta a esta primera etapa! El problema primordial es que las capas de grava se mezclan y en consecuencia el filtro queda compuesto de un lecho entero y mezclado, en lugar de presentar una capa fina superior. Claramente este hecho dificulta considerablemente el lavado del filtro y le implica al operador sacar con frecuencia una gran parte del lecho. Esto es un trabajo que dura casi mediodía y que debe ser realizado en la época de lluvia al menos una vez por semana - cuando se debería emplear solamente media hora para el rastrillo de la superficie!

En consecuencia CINARA está desarrollando ahora investigaciones adicionales con el objetivo de mejorar la operación del FGDí: la posibilidad de poner mallas entre las capas para evitar su mezcla; la reducción de la profundidad del filtro de 0.6 m a 0.4 m (véase cap. 6); la complementación de la limpieza superficial con lavados de fondo, utilizando para ello la experiencia con las válvulas de apertura rápida de los Filtros Gruesos Ascendentes [8].

6. Investigación en operación y mantenimiento del FGDí

En el desarrollo de la tecnología de Filtración Gruesa Dinámica es necesario profundizar en aspectos de operación y mantenimiento, así como presentar una guía con instrucciones simples que permitan a los operadores de estos sistemas su manejo adecuado. Pero claramente es necesario resolver las inquietudes mencionadas y realizar investigaciones adicionales para entender mejor los procesos en el Filtro Dinámico.

Este capítulo resume las investigaciones que fueron realizadas por el autor con el apoyo del equipo del laboratorio de la Estación de CINARA en Puerto Mallarino con el objetivo de aclarar algunos de los procesos que son importantes para la operación correcta y efectiva del FGDí.

6.1 Objetivos

Sin duda, los factores claves para la operación del FGDí son las variaciones en el tiempo del caudal filtrado y de la pérdida de carga en el lecho. Además interesa la influencia de la calidad de la fuente en estos procesos (tanto concentraciones de turbiedad/sólidos suspendidos moderadas y prolongadas como incrementos rápidos y muy pronunciados) y la variación de la eficacia al remover los contaminantes.

- Hasta qué punto es adecuado dejar declinar el caudal filtrado?
- Mejora la colmatación del lecho la eficacia de remoción?
- Como dependen los procesos de la calidad del agua cruda?
- Es la reducción de la profundidad del lecho filtrante razonable?
- Como manejan los operadores el filtro y que influencia hay esta manera de operación?

Aclarar estas relaciones fue el objetivo de las investigaciones.

6.2 Metodología

En los siguientes ítem se presentan los filtros que fueron elegidos para la investigación y las mediciones realizadas en ellos.

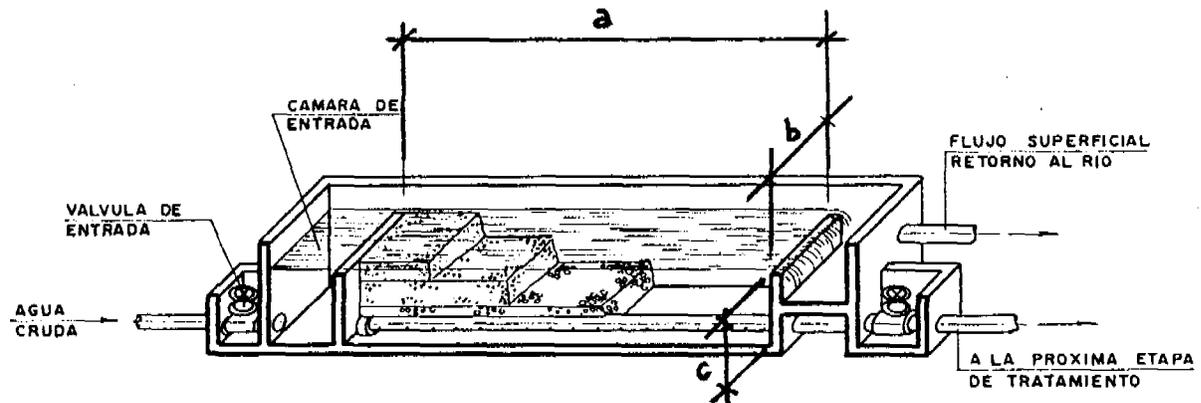
6.2.1 Filtros de investigación

Como ya fue mencionado CINARA dispone de tres Filtros Dinámicos a escala piloto en la Estación de Investigación en Puerto Mallarino, de los cuales fue elegido uno (el FGDí B) para realizar las investigaciones. Con el fin de comparar los resultados de este filtro piloto con experiencias a escala real y para incluir las

operaciones del fontanero, se investigó además en el FGD_i que forma parte de la planta de demostración de la Universidad Javeriana, el cual fue elegido por ser el más parecido al de Puerto Mallarino.

FGD_i de la Planta Piloto

El filtro hace parte de las líneas de pretratamiento en la Planta Piloto de la Estación de Investigación y está alimentado con agua del río Cauca. Sus características de diseño son los siguientes:



Largo $a = 2.53$ m
 Ancho $b = 0.79$ m Area $A = 2.0$ m²
 Profundidad $c = 0.60$ m Volumen $V = 1.2$ m³

Grava: 0.4 m ϕ 19-13 mm (lecho soporte)
 0.2 m ϕ 13-8 mm (capa superior)
 las capas son separadas por mayas

Caudal filtrado = 1.01 l/s

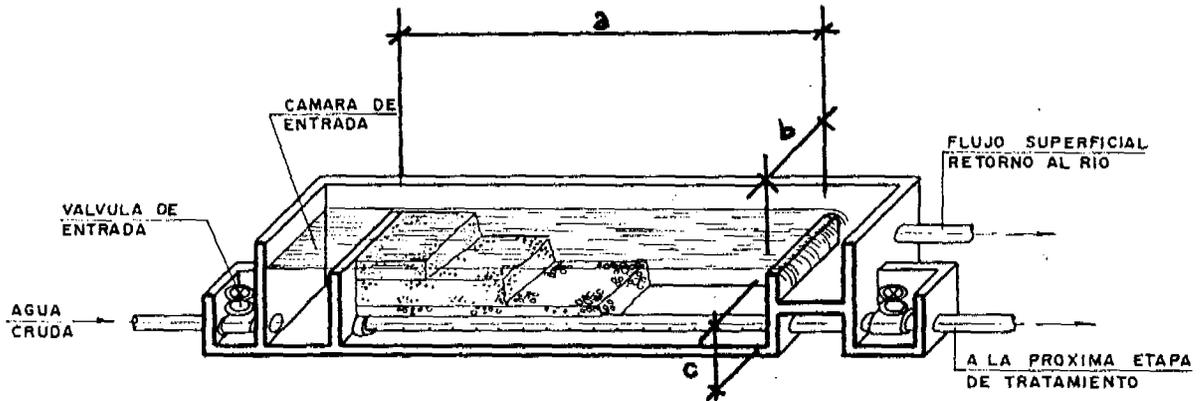
Velocidad de filtración $v = 1.8$ m/h

Piezómetros: 1 0.20 m de la superficie
 2 0.40 m de la superficie
 3 en la tubería de la salida

Figura 4: Las características de diseño del FGD_i B [7]

FGDi de la planta de la Universidad Javeriana

Este Filtro Dinámico forma parte de una planta de tratamiento que abastece a una Universidad y a un Colegio, la cual se compone además de dos unidades de Filtración Gruesa Horizontal y Filtración Lenta en Arena y de la desinfección mediante cloro como última barrera de seguridad. La planta está alimentada con el agua de una derivación del río Pance, el cual presenta un agua cruda con moderada contaminación tanto físico-química como bacteriológica.



Largo $a = 3.00$ m
Ancho $b = 1.40$ m Área $A = 4.2$ m²
Profundidad $c = 0.60$ m Volumen $V = 2.52$ m³
Grava: 0.60 m o 25-13 mm (mezclado)
Caudal filtrado = 3.0 l/s
Velocidad de filtración $v = 2.6$ m/h
Piezómetro: en la tubería de la salida

Figura 5: Las características de diseño del FGDi de la Javeriana

El fontanero, además de ser el operador del acueducto, es responsable de varios trabajos en la Universidad, así que normalmente dedica una hora por día a la operación de la planta.

6.2.2 Mediciones

Para obtener las informaciones requeridas sobre los procesos importantes de estos dos FGDi's fue necesario registrar tanto parámetros hidráulicos como parámetros físico-químicos. Es decir, además del caudal filtrado y de la pérdida de carga, se midió la calidad del agua, para lo cual se realizaron mediciones de turbiedad. Este parámetro se eligió por ser generalmente reportado

en la literatura y por ser de fácil medición. Pero como indicador de control se registró además el contenido de los sólidos suspendidos.

A continuación se resumen los métodos analíticos utilizados para la medición de estos parámetros:

a) Parámetros físico-químicos

Las muestras para los análisis físico-químicos se tomaron en recipientes plásticos de 250 o 500 ml. Las muestras del FGD_i de la Planta Piloto fueron analizadas inmediatamente en el laboratorio físico-químico de la Estación, mientras que las muestras tomadas en la planta de La Javeriana, normalmente fueron analizadas dentro de dos horas (excepción: el fin de semana, cuando fueron conservadas en nevera hasta el lunes). Las muestras se midieron de acuerdo a las recomendaciones del 'Standard Methods' [9]:

Turbiedad (UNT): se midió por el método nefelométrico, utilizando un turbidímetro HACH modelo '2100 A'. En la Planta Piloto se controló además la turbiedad del agua cruda permanentemente con un turbidímetro HACH modelo 'Surface Scatter 6', el cual muestra en general un contenido más alto que el modelo 2100 A.

Sólidos suspendidos (mg/l): se midieron por gravimetría, utilizando un filtro 'Whatman' de fibra de vidrio 934 AH con un tamaño de poro de 1.2 μ m. Para turbiedades bajas (<20 UNT) se utilizó el método fotométrico con el equipo 'Shimadzu' modelo UV 120-01 y longitudes de 810 nm.

b) Parámetros hidráulicos

Caudal filtrado (l/s): se midió en la Planta Piloto volumétricamente en recipientes calibrados en mililitros y en La Javeriana mediante el vertedero triangular de 45 en la estructura de la entrada del FGH, calibrado volumétricamente previamente.

Pérdida de carga hidráulica (cm): se midió por la diferencia de niveles de agua, por lo cual se utilizaron mangueras de nivel. En el FGD_i de la Planta Piloto se midió la pérdida de carga entre las diferentes capas del lecho filtrante, utilizando los piezómetros ya instalados (véase Fig.4), mientras en el FGD_i de La Javeriana se registró únicamente la pérdida de carga total, entre la entrada y la salida.

6.2.3 Programa de mediciones

Debido a las facilidades para la evaluación que presenta el FGD_i ubicado en Puerto Mallarino, con respecto al de La Javeriana, fue necesario realizar programas distintos para cada FGD_i.

a) Programa para el FGD_i de la Planta Piloto

En este caso se midieron dos aspectos principales: en el primero se evaluó el compartimiento de la unidad frente a valores bajos de turbiedad, mientras que en el segundo se evaluó el impacto de las incrementos rápidos de turbiedad en el agua cruda, llamado a continuación también 'pico'. El valor límite para la distinción de los casos se consideró en 100 UNT, el cual corresponde al valor promedio anual de turbiedad en el río Cauca.

CASO 1 (< 100 UNT)				
	8h	13h	17h	20h
Turbiedad del agua cruda	†	†		†
Turbiedad del agua filtrada	†	†		†
Sólidos suspendidos a.c	†			
Sólidos suspendidos a.f	X			
Caudal efluente del FGDR			†	
Pérdida de carga			†	

† = regular
X = adicional

Tabla 5: Programa de mediciones para el FGD_i B de la Planta Piloto; caso de baja turbiedad

En este caso se aprovechó las mediciones ordinariamente realizadas por CINARA en su proyecto de la evaluación de diferentes métodos de pretratamiento [7]. Únicamente la medición diaria del contenido de los sólidos suspendidos en el efluente del filtro fue adicional.

Para el caso en donde la turbiedad se presentó por encima de 100 UNT, las mediciones en todos los parámetros se realizaron cada hora (ver tabla 6). Excepto la medición de la turbiedad del agua cruda, la cual se registra rutinariamente cada hora en la Estación, todas las demás mediciones fueron adicionales, medidas y analizadas por el equipo del laboratorio de Puerto Mallarino.

CASO 2 (>100 UNT)	Durante el plazo de la alta turbiedad una muestra cada hora.						
	...	12h	13h	14h	15h	16h	...
Turbiedad del agua cruda		†	†	†	†	†	†
Turbiedad del agua filtrada		X	X	X	X	X	X
Sólidos suspendidos a.c	Según la función de la turbiedad						
Sólidos suspendidos a.f							
Caudal efluente del FGDB		X	X	X	X	X	X
Pérdida de carga		X	X	X	X	X	X

† = regular
X = adicional

Tabla 6: Programa de mediciones para el FGD_i B de la Planta Piloto; caso seguimiento de incrementos rápidos de turbiedad

b) Programa para el FGD_i de La Javeriana

Se midieron los parámetros una vez al día, por lo cual no fue posible seguir incrementos rápidos de turbiedad ni registrar la influencia de la calidad del agua cruda a la carrera del filtro. En cambio se pudieron observar las operaciones del fontanero y su influencia en el funcionamiento del FGD_i.

	diario
Turbiedad del agua cruda	X
Turbiedad del agua filtrada	X
Sólidos suspendidos a.c	X
Sólidos suspendidos a.f	X
Caudal efluente del FGD	X
Pérdida de carga	X

Tabla 7: Programa de mediciones para el FGD_i de La Javeriana

Las mediciones hidráulicas y la toma de muestras de todos los parámetros fueron realizadas una vez al día por el autor del presente reporte, siendo las muestras fisico-químicos analizadas posteriormente en la Estación.

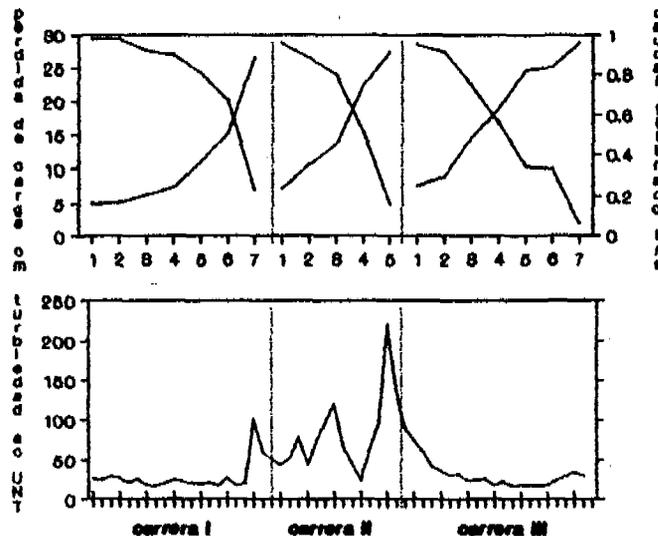
6.3 Presentación y discusión de los resultados

El programa de medición presentado fue seguido en los dos FGDí's durante tres semanas, entre el 17 de septiembre y 6 de octubre 1992. Claramente, esta duración de investigación es - debido a la limitada duración de la pasantía - muy corta y no permite extraer conclusiones definitivas. Aunque la investigación se realizó en el tiempo de cambio del verano a la época de lluvia, por lo cual podría ser muy representativa, las turbiedades en general se presentaron bajas y se logró únicamente registrar un sólo 'pico'.

Sin embargo, como se registraron al menos tres carreras en cada filtro, los resultados pueden servir para la aclaración de algunos procesos en el FGDí, tomando en cuenta que se basan en pocos datos y evitando su generalización exagerada. A continuación se presentan algunas de estas relaciones; los formatos originales de las mediciones se encuentran en el anexo.

6.3.1 Influencia de la calidad de la fuente en la variación en el tiempo del caudal filtrado y de la pérdida de carga

El caudal filtrado y la pérdida de carga son los dos parámetros según los cuales se puede operar el FGDí. La Gráfica 1 presenta las variaciones de estos parámetros y de la turbiedad del agua cruda (como indicador de la calidad de la fuente) para las tres carreras de filtración del FGDí de la Planta Piloto.



Gráfica 1: Caudal filtrado, pérdida de carga y turbiedad del a.c. del FGDí de la Planta Piloto

Estas funciones ya son bien conocidas: el caudal filtrado va disminuyendo y la pérdida de carga va creciendo, debido a la

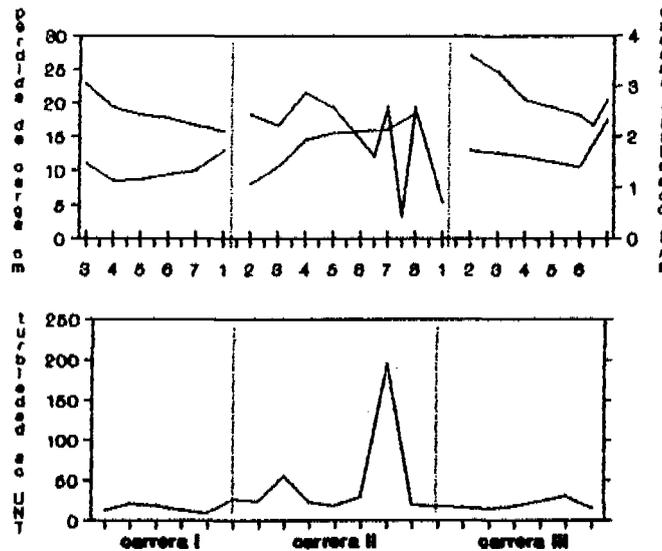
creciente colmatación del filtro. Las funciones de las tres carreras son muy parecidas, aunque se notan diferencias en la velocidad de la variación y en consecuencia en la duración de la carrera, la cual varía entre 5 y 7 días. En la primera carrera la turbiedad permaneció muy baja (<30 UNT) y las funciones cambiaron gradualmente. Un 'pico' de 100 UNT se presentó al final de la carrera, cuando el lecho ya estuvo muy colmatado, por lo cual su influencia en la duración de la carrera fue mínima. En cambio en la siguiente carrera, se registraron dos 'picos' pronunciados, los cuales provocaron la colmatación rápida del FGD_i, por lo que resultó una carrera de cinco días. La carrera III se inició al final del segundo 'pico' de turbiedad, la cual continuó disminuyendo gradualmente, permaneciendo baja el resto de la carrera. La duración fue siete días, aunque el filtro se colmató más rápidamente que en la carrera I.

Claramente existe una relación entre la calidad del agua cruda y la variación en el tiempo del caudal filtrado y de la pérdida de carga. Por eso la duración de una carrera del FGD_i depende mucho de la fuente y no es razonable generalizar la frecuencia del lavado. En consecuencia se necesita un parámetro que indique al fontanero el estado de la colmatación y le facilite así la operación (véase el siguiente ítem).

6.3.2 Influencia de las operaciones del fontanero

En el filtro de la Planta Piloto se pudo dejar declinar el caudal filtrado hasta alcanzar una reducción superior al 80%, aprovechando que a escala piloto no se debe abastecer a una población. En cambio, a escala real se necesita normalmente un cierto valor del caudal filtrado para asegurar el abastecimiento previsto. El caudal entonces es el factor límite para la operación y presenta para el fontanero el indicador requerido del estado de la colmatación en el filtro.

La Gráfica 2 muestra las carreras registradas en La Javeriana, donde el operador manejó la planta como regularmente lo hace: El fontanero tiene su ritmo de trabajo: cada día dedica una hora al acueducto y cada ocho días realiza la limpieza del Filtro Dinámico, para lo cual saca la mayor parte de la grava. Este programa le facilita mucho la operación. Infortunadamente se limita su realización al tiempo del verano, cuando la turbiedad de la fuente es baja y entonces la operación del FGD_i no presenta ningún problema. En cambio en la época de lluvia se colmata el filtro mucho más rápidamente y le toca al operador de realizar con más frecuencia tanto el control del caudal filtrado como la limpieza del filtro.



Gráfica 2: Caudal filtrado, pérdida de carga y turbiedad del agua cruda para el FGDí de La Javeriana

La diferencia en la operación se ve muy bien en la gráfica: en la primera carrera, la cual formó todavía parte del tiempo seco, el operador únicamente tuvo que ajustar el caudal filtrado al principio de la carrera. Después de una semana, cuando el fontanero realiza el lavado regular del lecho, el caudal todavía estuvo encima de 2 l/s, los cuales alcanzan para abastecer los consumidores. En cambio en la carrera II se notan las operaciones frecuentes del operador, causadas por la creciente turbiedad en la época de lluvia. Ya en el tercer día el fontanero aumentó la apertura de la válvula de salida, compensando así la creciente pérdida de carga y en consecuencia aumentando el caudal filtrado. Tres días después rastrelló la superficie porque el caudal era otra vez muy bajo. Sin embargo, este cayó a 0.4 l/s (!) hasta el próximo día, presentándose niveles muy bajos en el tanque de almacenamiento. En lugar de realizar ahora el lavado, el cual interrumpiría el caudal en toda la planta, abrió de nuevo la válvula (al máximo posible) para permitir superar rápidamente este problema de abastecimiento. Por supuesto, el lavado fue necesario el próximo día, cuando el caudal definitivamente disminuyó, debido a la colmatación avanzada.

Este ejemplo muestra que los fontaneros manejan el FGDí en primer lugar mediante la válvula de salida, abriéndola si el caudal filtrado no alcanza. Claramente se puede aumentar el caudal así fácilmente y los problemas parecen resueltos, pero el problema de esta operación es que no se nota una colmatación ya avanzada del lecho filtrante, la cual a continuación deja declinar el caudal muy rápidamente otra vez (véase también cap. 6.3.4).

De todos modos sería mejor aumentar el caudal filtrado limpiando el Filtro mediante el rastrillado superficial, lo cual sería más persistente. Pero como ya fue mencionado se presentan los lechos de los Filtros Dinámicos mezclados, por lo cual la eficacia del lavado superficial es muy baja. Hay que resolver primero el problema de la mezcla.

6.3.3 Eficacia de la limpieza superficial

Los lavados entre las carreras del Filtro Dinámico en la Planta Piloto se realizaron mediante la limpieza superficial, lavando los primeros 20 centímetros con una pala, los cuales son separados por una malla del lecho de soporte. La tabla 8 muestra la eficacia de los dos lavados:

Lavado	Caudal [l/s]		Pérdida de carga [cm]		
	antes	después	antes	después	%
23,9	0,23	1,00	27,3	6,1	78
28,9	0,16	1,00	27,3	6,3	77

Tabla 8: Eficacia de la limpieza superficial a escala piloto

Se logró disminuir la pérdida de carga en un 80%, con un trabajo que dura media hora! Claramente sería interesante registrar y analizar las variaciones de las pérdidas de carga mínimas que se logran alcanzar después de varios lavados; se puede suponer que estos valores van creciendo y que en consecuencia después de un cierto tiempo es necesario de lavar el filtro hasta el fondo. Debido a los pocos datos de esta investigación no es posible hacer esta relación.

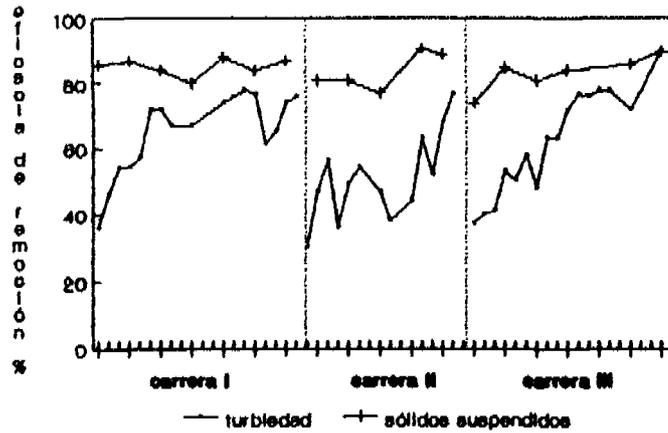
El resultado muestra que vale la pena asegurar la gradación del lecho filtrante en las plantas a escala real con el objetivo de aprovechar de este sistema de lavado muy efectivo y sencillo.

6.3.4 Capacidad de remoción en función del tiempo

La Gráfica 3 presenta la eficacia de remoción en sólidos suspendidos y turbiedad para las tres carreras del FGD_i de la Planta Piloto. La capacidad de remoción registrada coincide con los resultados presentados en cap. 5.4 con base en las investigaciones de CINARA y alcanza los valores altos reportados; la remoción en sólidos suspendidos incluso pasa por encima del 80% permanentemente.

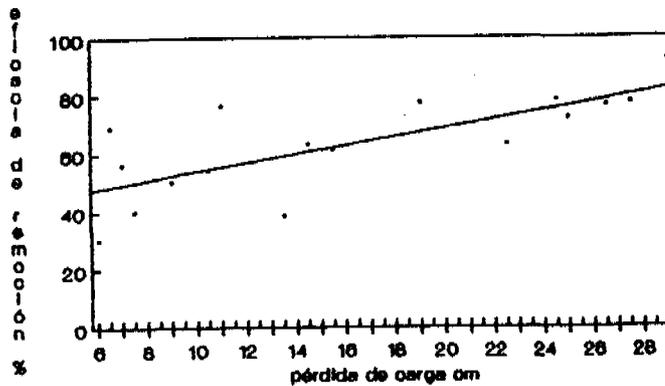
Se nota una creciente tendencia en la remoción de los dos contaminantes con el aumento de días de operación, la cual es muy

pronunciada para la turbiedad y menos clara para los sólidos suspendidos (debido a su remoción amplia desde el principio):



Gráfica 3: Eficacia de remoción en sólidos suspendidos y turbiedad para el FGD de la Planta Piloto

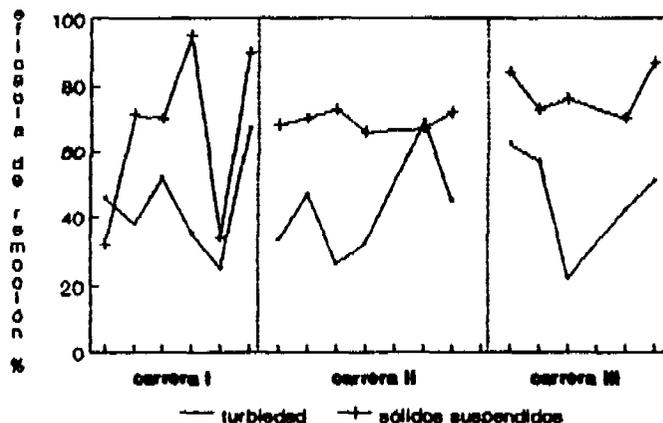
Claramente esta tendencia se basa en la influencia de la creciente colmatación del filtro que teóricamente debe provocar día a día la remoción de partículas más finas. En la siguiente gráfica se presenta la relación entre la eficacia de remoción y la pérdida de carga que ha sido determinada para los datos de las mismas carreras.



Gráfica 4: Relación entre la eficacia de remoción en turbiedad y la pérdida de carga; las mismas carreras

Aunque son pocos datos se confirma la misma tendencia muy claramente. Este hecho, la creciente capacidad de remoción en el curso de una carrera, significa que no es automáticamente bueno realizar el lavado del FGD con demasiado frecuencia, especialmente si el filtro se utiliza como primera barrera en el proceso del mejoramiento.

Infelizmente as remoções em unidades a escala real poucas vezes são iguais às encontradas na Planta Piloto. A Gráfica 5 mostra a eficácia de remoção para as corridas de La Javeriana:



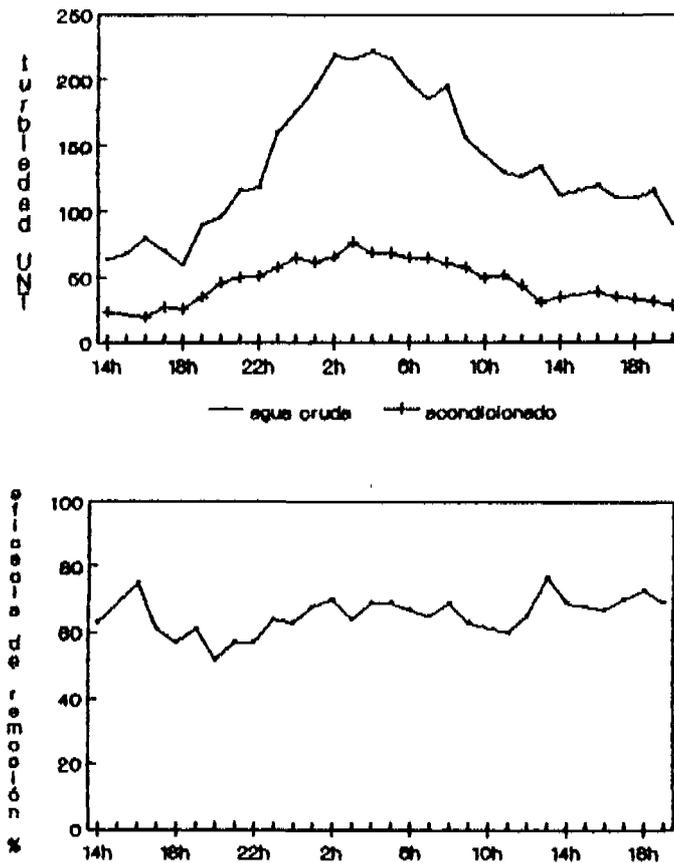
Gráfica 5: Eficácia de remoção em sólidos suspensos e turbidez para o FGD de La Javeriana

Aquí é muito difícil encontrar a crescente capacidade de remover os contaminantes, embora se nota uma ligeira tendência. Porém, se se compararem estas funções com as operações registradas do fontanero (ver gráfica 2) se pode observar certa coincidência, sobretudo na corrida II, onde a eficácia diminui quando o operador maneja a válvula para fazer crescer o caudal filtrado. Isto se pode explicar por efeito do arraste de partículas já sedimentadas que saem do lecho, por causa do aumento brusco do caudal. Também se pode supor que além do problema do lecho mezclado contribui para esta reduzida tendência.

6.3.5 Influencia de un 'pico' de turbiedad

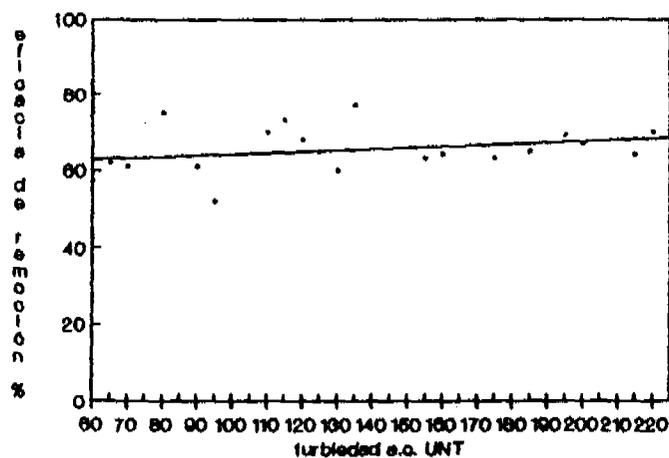
Se logró únicamente registrar un sólo 'pico' de turbiedad, el cual no fue muy representativo con un máximo de 222 UNT, llegando además en el cuarto día de la carrera, cuando la colmatación del lecho estuvo avanzada. Adicionalmente hubo en este día una interrupción en el abastecimiento de agua cruda entre las 12h y las 14h.

A pesar de todo se presentan algunas relaciones a continuación, las cuales deben ser interpretadas con cuidado:



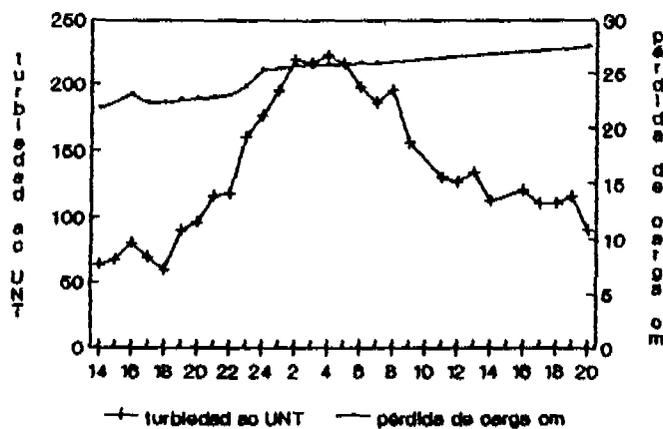
Gráfica 6: Turbiedad en el agua cruda, en el agua filtrado y eficacia de remoción en porcentaje durante el 'pico' del 27./28. de septiembre

Se nota, debido a la colmatación ya avanzada, una eficacia de remoción muy alta y uniforme; es decir que la capacidad de remover contaminantes no varía con la calidad del agua cruda, aunque se registra una tendencia muy leve, según la siguiente gráfica:



Gráfica 7: Eficacia de remoción en función de la turbiedad del agua cruda para el mismo incremento rápido

Tampoco se puede observar un cambio brusco o significativo en la pérdida de carga como muestra gráfica 8:

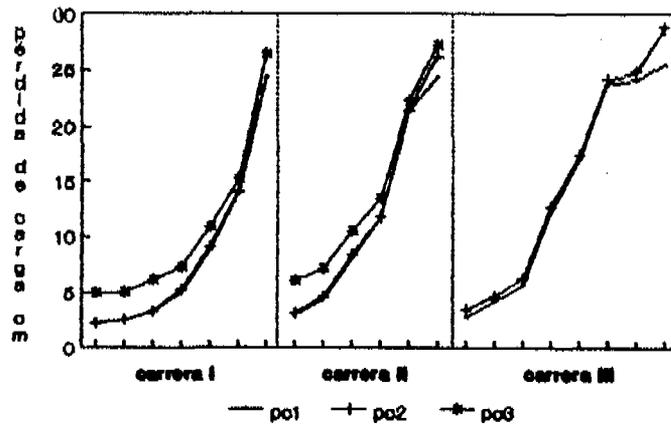


Gráfica 8: Pérdida de carga en función de la turbiedad en el agua cruda para el 'pico' de turbiedad

Esto claramente puede ser causado por la avanzada colmatación y la alta pérdida de carga, la cual a la llegada del 'pico' estuvo casi en su máximo.

6.3.6 Influencia de las capas del lecho

La Gráfica 9 presenta las funciones de las pérdidas de carga registradas en el FGD_i de la Planta Piloto mediante las mangueras instaladas en tres diferentes sitios del lecho:



Gráfica 9: Pérdida de carga en las tres sitios del FGD_i de la Planta Piloto

Un análisis más interesante se puede realizar cuando se observa la contribución de las diferentes capas del lecho filtrante en la pérdida de carga total y en consecuencia al mejoramiento de la calidad del agua (véase cap. 6.3.4). La siguiente Figura muestra los sitios de medición de la pérdida de carga:

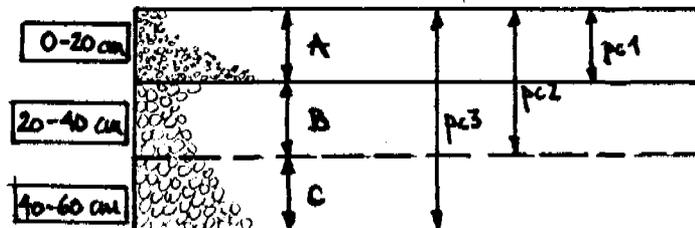
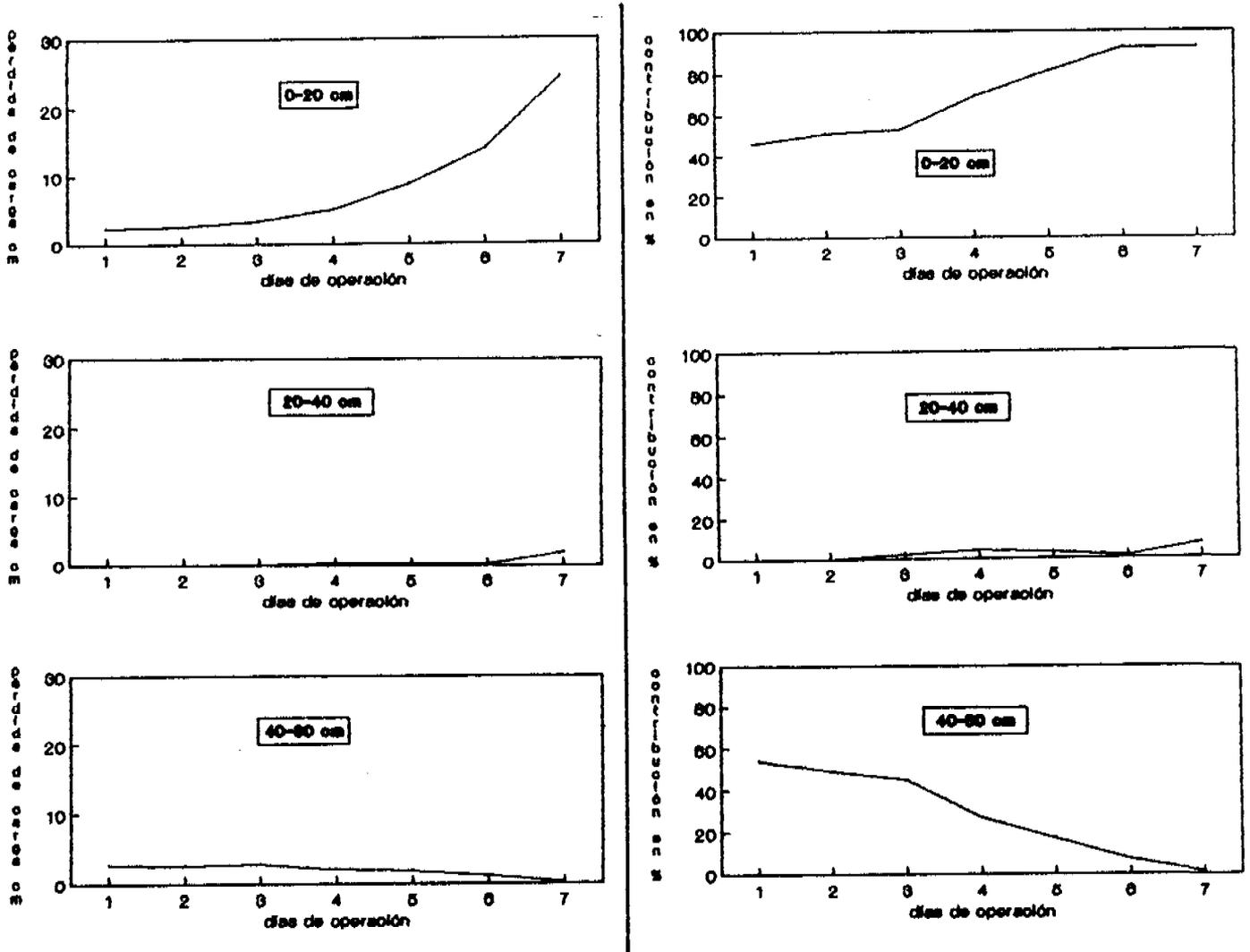


Figura 6: Sitios de medición de la pérdida de carga en el FGD_i B

Como ya fue mencionado se compone este filtro de dos capas, las cuales son separadas mediante una malla: una capa superior de 20 cm con grava fina y el lecho de soporte de 40 cm con grava gruesa. En lugar de los valores registrados (pc1, pc2, pc3) interesan los valores de la pérdida de carga en cada capa (A, B, C).

El resultado para la carrera I se presenta en la gráfica 10. Al inicio de la carrera la capa fina superior contribuye con el 50% de la pérdida de carga total; el porcentaje va creciendo después gradualmente y alcanza rápidamente el 90%. La segunda parte del lecho de soporte (40-60 cm) contribuye al inicio con el 50%, pero a continuación se disminuye su influencia hasta cero. Mientras la primera parte del lecho de soporte (20-40 cm) casi no se colmata, y en su máximo al fin de la carrera el 7% alcanza.



Gráfica 10: Pérdida de carga en las diferentes capas (izquierda) y sus contribuciones en la pérdida de carga total (derecha) para el FGD_i de la Planta Piloto

Si se utiliza la relación de la pérdida de carga y la eficacia de la remoción (ver ítem 6.3.4), se puede decir que la capa superior contribuye en la mayor parte al proceso del mejoramiento de la calidad del agua, mientras que el lecho de soporte y en especial la capa inferior lo hacen en mucho menor cantidad.

Estos resultados muestran que no es necesario disponer de un lecho soporte de 40 centímetros para lograr eficacias altas con el FGD_i. En consecuencia se puede decir que muy probablemente es razonable de reducir la profundidad del lecho 20 cm por ejemplo, manteniendo la eficacia de remoción.

6.4 Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones que se pueden extraer de esta investigación con respecto a la operación y el mantenimiento de los FGDí's:

Se mostró que debido a la relación entre la calidad del agua cruda y la duración de una carrera del FGDí, no es razonable generalizar la frecuencia de lavado del filtro y que además no es bueno realizar este lavado con demasiada frecuencia, porque al incrementarse la colmatación del lecho filtrante, aumenta la eficacia de remoción. Sin embargo, se debe recomendar un ritmo de lavado periódico que facilite los labores de mantenimiento al operador (por ejemplo una vez por semana), el cual puede ser complementado con lavados intermedios en la época de lluvia, cuando el filtro se colmata más rápidamente. En todo caso, la duración del período entre lavados debe determinarse según las características de la fuente.

En el FGDí de la Planta Piloto, donde la capa superior es separada del lecho de soporte mediante una malla, la limpieza superficial muestra ser muy efectiva en la disminución de la pérdida de carga, así que con este sistema de lavado sencillo y rápido, el operador logra operar el filtro correctamente durante varios meses. En cambio, a escala real se pudo observar que debido a la mezcla de las capas del lecho filtrante (por la falta de mallas y la operación inadecuada), la eficacia de la limpieza superficial es muy baja, por lo cual el fontanero debe realizar el lavado sacando la mayor parte de la grava; siendo este un trabajo arduo que dura casi medio día. En consecuencia, el operador maneja el filtro entre los lavados operando la válvula de salida, aumentando su apertura cuando el caudal filtrado no alcanza el valor requerido. Esta operación puede ser muy útil y algunas veces necesaria, pero muestra su limitación ya que no se puede garantizar la estabilidad de este caudal, debido a la colmatación avanzada en que se encuentra el lecho filtrante. Por eso es importante asegurar la gradación del lecho filtrante en FGDí (por ejemplo mediante mallas), lo cual permitiría lavar el filtro con la limpieza superficial, facilitando mucho la operación.

El análisis de las pérdidas de carga registradas en las diferentes capas del FGDí a escala piloto mostró que la capa fina superior contribuye en la mayor parte en la pérdida de carga total. Utilizando la relación entre la pérdida de carga y la eficacia de remoción, se puede decir que estos primeros 20 centímetros (o incluso menos) son los principales responsables para el mejoramiento de la calidad del agua, lo que permite afirmar que muy probablemente es razonable reducir la profundidad del lecho de soporte, manteniendo la eficacia de remoción del filtro, lo que permitiría bajar los costos y facilitar la operación. Debido a la contribución mínima de la capa inferior en la pérdida de carga del FGDí, esta reducción podría ser unos 20 centímetros. Claramente se necesita verificar esta conclusión y evaluar experimentalmente el valor exacto de la posible reducción.

7. Comentario final

Debido al estado de desarrollo de la tecnología de Filtración Gruesa Dinámica y de las inquietudes adicionales en la operación de unidades a escala real, no fue posible preparar un manual de operación & mantenimiento al servicio de los fontaneros, como era el objetivo final de esta pasantía. Claramente es mejor incluir los resultados pendientes de las investigaciones realizadas y en curso de CINARA; como la reducción del lecho filtrante y el aseguramiento de mantener la gradación de las capas en el tiempo, las cuales podrían facilitar mucho la operación. Sin duda, se espera que este reporte pueda servir como resumen de esta tecnología y que los resultados de la investigación realizada puedan contribuir en facilitar la operación de los FGDí's.

Al final quería dar mis agradecimientos a todo el equipo de CINARA por brindarme su colaboración y por hacerme sentir bien. Fue un placer trabajar en este equipo joven y de una alegría sorprendente. A excepción de la llegada bien tardía del ventilador y de la no aparición de la carta de presentación, toda la pasantía fue muy bien organizada. Sin embargo, por el camino tan largo hacia el trabajo y también por el calor, la eficacia de trabajo no estuvo siempre en su máximo. Pero de todas maneras, los dos meses fueron una buena experiencia.

Referencias

- [1] Agua potable y saneamiento básico, plan de ajuste sectorial: II fase 1991-1994, República de Colombia, Mayo 1991
- [2] Consideraciones sobre selección de tecnología para el mejoramiento de la calidad de agua, G.Galvis (CINARA), Cali 1991
- [3] Sobreponiéndose a las limitaciones de la calidad del agua con el concepto multi-barrera: una experiencia de Colombia, G.Galvis (CINARA)/ J.T.Visscher (IRC)/ B.Lloyd (Robens Institute), 1991
- [4] Proyecto integrado de Investigación y Demostración en Filtración Lenta en Arena, Informe final, CINARA y IRC, Cali 1989
- [5] Comparative study of different pretreatment alternatives, G.Galvis y J.Fernandez (CINARA)/ J.T.Visscher (IRC), Cali 1992
- [6] Manual de diseño, operación & mantenimiento de Filtros Gruesos Dinámicos, Version preliminar, G.Galvis y J.Fernandez, Cali Octubre 1991
- [7] Proyecto integrado de Demostración y Investigación de métodos de pretratamiento para sistemas de abastecimiento de agua, Informe final preliminar, CINARA, Cali Octubre 1992
- [8] Proyecto limpieza hidráulica de Filtros Gruesos, Informe final, CINARA/IDRC, Cali August 1992
- [9] Standard methods, for the examination of water and wastewater, APHA/AWWA/WPCF, 17th edition, Washington 1989
- [10] Diccionario de bolsillo, Español-Alemán, Langenscheidt, Munchen 1980
- [11] Innovative tecnologia for reduction in biological contaminants and FHM precursors, G.Galvis (CINARA), Cali 1992

Anexo

- A1: Datos de las carreras del FGD_i de la Planta Piloto
- A2: Datos del seguimiento de un incremento rápido de turbiedad en el FGD_i de la Planta Piloto
- A3: Datos de las carreras del FGD_i de La Javeriana

CINARA

IRCWD

Investigación en filtros gruesos dinámicos
Puerto Mallarino

Seguimiento Carrera de Filtración

Fecha	Hora	Turbiedad (UNT)		Sólidos Suspendedos (mg/l)		Caudal [l/s]	Pérdida de Carga (m)		
		Aqua cruda	FGDB	Aqua cruda	FGDB		pc1	pc2	pc3
17.9. Jue	8 ⁰⁰	25	16 36%	34,10	4,8 8%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ / 16 ⁰⁰	24	13 46%	—	—	0,98	0,023	0,023	0,050
	20 ⁰⁰	28	13 54%	—	—	—	—	—	—
18.9. Vie	8 ⁰⁰	26	12 51%	23,10	3,10 87%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ / 16 ⁰⁰	21	9 57%	—	—	0,98	0,026	0,026	0,051
	20 ⁰⁰	25	8 72%	—	—	—	—	—	—
19.9. Sa	8 ⁰⁰	18	5 72%	19,10	3,10 84%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ / 16 ⁰⁰	17	5 69%	—	—	0,92	0,033	0,034	0,062
	20 ⁰⁰	—	—	—	—	—	—	—	—
20.9. Do	8 ⁰⁰	24	8 63%	20,10	4,10 80%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ / 16 ⁰⁰	—	—	—	—	0,90	0,050	0,053	0,073
	20 ⁰⁰	—	—	—	—	—	—	—	—
21.9. Lu	8 ⁰⁰	19	5 74%	18,10	2,2 88%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ / 16 ⁰⁰	21	5 76%	—	—	0,81	0,088	0,091	0,109
	20 ⁰⁰	18	4 78%	—	—	—	—	—	—
22.9. Ma	8 ⁰⁰	26	6 77%	23,2	3,8 84%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ / 16 ⁰⁰	18	7 69%	—	—	0,67	0,140	0,142	0,153
	20 ⁰⁰	20	7 65%	—	—	—	—	—	—

lavado

Observaciones: lavado el 16.9.92 : • Antes : Caudal = 0,98 l/s ; p.c. = 3,0/3,2/5,6
• Después : Caudal = 1,00 l/s ; p.c. = 2,3/2,3/5,0

Investigación en filtros gruesos dinámicos
Fuerto Mallarino

Seguimiento Carrera de Filtración

Fecha	Hora	Turbiedad (UNT)		Sólidos Suspendidos (mg/l)		Caudal [l/s]	Pérdida de Carga		
		Agua cruda	FGDB	Agua cruda	FGDB		pc1	pc2	pc3
23.9. Mie	8 ⁰⁰	19	5 24%	22	2,8 89%	—	—	—	—
	15 ⁰⁰ /15 ⁰⁰	58	14 26%	—	—	0,23	0,244	0,263	0,265
	20 ⁰⁰	51	36 30%	—	—	1,00	0,030	0,032	0,061
24.9. Jue	8 ⁰⁰	43	23 49%	44,8	8,3 81%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ /17 ⁰⁰	52	23 56%	—	—	0,96	0,044	0,047	0,072
	20 ⁰⁰	78	50 34%	—	—	—	—	—	—
25.9. vie	8 ⁰⁰	43	22 49%	48,8	9,3 81%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ /17 ⁰⁰	74	39 57%	—	—	0,88	0,081	0,084	0,105
26.9. Sa	8 ⁰⁰	120	64 49%	159,0	42,0 79%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ /17 ⁰⁰	66	41 38%	—	—	0,80	0,117	0,118	0,135
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27.9. Do	10 ⁰⁰	23	13 44%	—	—	—	—	—	—
	14 ⁰⁰ /17 ⁰⁰	64	24 63%	132,0	12,0 91%	0,51	0,214	0,215	0,223
	20 ⁰⁰	96	46 51%	—	—	—	—	—	—
28.9. Lu	8 ⁰⁰	195	61 68%	276,0	31,0 89%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ /14 ⁰⁰	134	31 77%	—	—	0,3	—	—	—
	20 ⁰⁰	90	28 69%	—	—	1,00	0,028	0,035	0,063

- Observaciones:
- *1) Lavado el 23.9.92:
 - o Antes (19⁰⁰): Caudal = 0,18 l/s ; pc = 0,243/0,263
 - o Después (20⁰⁰): Caudal = 1,0 l/s ; pc = 0,030/0,032/0,061
 - *2) Lavado el 28.9.92:
 - o Antes (19⁰⁰): Caudal = 0,16 l/s ; pc = 0,244/0,247
 - o Después (20⁰⁰): Caudal = 1,0 l/s ; pc = 0,028/0,035
 - *3) Desde las 12⁰⁰ no había agua cruda

Investigación en filtros gruesos dinámicos
Puerto Mallarino

Seguimiento Carrera de Filtración

Fecha	Hora	Turbiedad (UNT)		Sólidos Suspendedos (mg/l)		Caudal [l/s]	Pérdida de Carga		
		Aqua cruda	FGDB	Aqua cruda	FGDB		pc1	pc2	pc3
1 29.9. Ma	8 ⁰⁰	75	47 31%	185,0	47,6 74%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ /14 ⁰⁰	60	36 40%	—	—	0,95	0,042	0,047	0,095
	20 ⁰⁰	41	24 41%	—	—	—	—	—	—
2 30.9 Mie	8 ⁰⁰	36	17 53%	50,0	6,8 85%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ /14 ⁰⁰	30	15 50%	—	—	0,91	0,057	0,063	0,068
	20 ⁰⁰	31	13 58%	—	—	—	—	—	—
3 1.10 Jue	8 ⁰⁰	23	12 48%	43,0	8,0 81%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ /14 ⁰⁰	24	9 63%	—	—	0,75	0,123	0,128	0,145
	20 ⁰⁰	25	10 63%	—	—	—	—	—	—
4 2.10 Vie	8 ⁰⁰	18	5 72%	20,0	3,2 84%	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ /14 ⁰⁰	22	5 77%	—	—	0,56	0,171	0,175	0,188
	19 ⁰⁰	17	4 76%	—	—	—	—	—	—
5 3.10 Sa	8 ⁰⁰	18	4 78%	17	—	—	—	—	—
	13 ⁰⁰ /14 ⁰⁰	18	4 78%	—	—	0,34	0,239	0,241	0,246
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6 4.10 Do	8 ⁰⁰	18	5 72%	21,0	3,0 86%	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	0,33	0,241	0,248	0,251
	—	—	—	—	—	—	—	—	—

← lavado

Observaciones:

Investigación en filtros gruesos dinámicos
Puerto Mallarino

Seguimiento Pico de Turbiedad

Fecha	Hora	Turbiedad (UNT)		Sólidos Suspendidos (mg/l)		Caudal [l/s]	Pérdida de Carga		
		Agua cruda	FBDB	Agua Cruda	FBDB		pc1	pc2	pc3
23.9.92 Mie	15 ⁰⁰	110	26 _{76%}			0,23	0,244	0,263	0,265
	16 ⁰⁰	110	28 _{75%}			0,22	0,244	0,266	0,266
	17 ⁰⁰	94	28 _{76%}			0,20	0,244	0,268	0,268
24.9.92 Jue	16 ⁰⁰	96	49			-	-	-	-
	17 ⁰⁰	110	66			-	-	-	-
	18 ⁰⁰	110	58			0,99	0,093	0,095	0,090
	19 ⁰⁰	83	55			0,98	0,093	0,097	0,092
25.9.92 Vie	23 ⁰⁰	100	53			0,86	0,091	0,093	0,113
	24 ⁰⁰	120	52			0,89	0,091	0,094	0,115
26.9.92 Sá	01 ⁰⁰	130	58			0,83	0,093	0,096	0,116
	02 ⁰⁰	150	71			0,88	0,096	0,097	0,117
	03 ⁰⁰	140	78			0,81	0,098	0,100	0,119
	04 ⁰⁰	120	73			0,80	0,100	0,101	0,121
	05 ⁰⁰	120	73			0,78	0,101	0,102	0,122
	06 ⁰⁰	120	74			0,78	0,102	0,104	0,123
	07 ⁰⁰	120	70			0,76	0,103	0,105	0,124
	08 ⁰⁰	120	64			-	-	-	-
	09 ⁰⁰	110	61			-	-	-	-

Observaciones:

lavado

CINARA

IRCWD

Investigación en filtros gruesos dinámicos
Puerto Mallarino

Seguimiento Pico de Turbiedad

Fecha	Hora	Turbiedad (UNT)		Sólidos Suspendidos (mg/l)		Caudal [l/s]	Pérdida de Carga		
		Aqua cruda	FGDB	Aqua Cruda	FGDB		pc1	pc2	pc3
	10 ⁰⁰	90	59			-	-	-	-
	11 ⁰⁰	75	59			-	-	-	-
	12 ⁰⁰	77	50			-	-	-	-
27.9.	14 ⁰⁰	64	24 ^{67%}	132,0	8,2	0,53	0,210	0,212	0,218
D	15 ⁰⁰	68	-			-	-	-	-
	16 ⁰⁰	80	20 ^{25%}	125,0	5,6	0,52	0,212	0,214	0,230
	17 ⁰⁰	70	27 ^{61%}			0,51	0,214	0,215	0,223
	18 ⁰⁰	60	26 ^{57%}	83,0	6,5	0,50	0,216	0,217	0,223
	19 ⁰⁰	90	35 ^{61%}			0,44	0,216	0,217	0,225
	20 ⁰⁰	96	46 ^{57%}			0,43	0,217	0,218	0,226
	21 ⁰⁰	116	50 ^{57%}			0,43	0,222	0,231	0,228
	22 ⁰⁰	118	51 ^{57%}	181,0	16,0	0,40	0,224	0,233	0,229
	23 ⁰⁰	160	58 ^{61%}	261,0	(47,0)?	0,38	0,237	0,239	0,238
	24 ⁰⁰	176	65 ^{63%}			0,36	0,246	0,248	0,253
28.9	1 ⁰⁰	195	62 ^{68%}			0,33	0,249	0,250	0,255
Lu	2 ⁰⁰	219	66 ^{70%}			0,31	0,249	0,252	0,259
	3 ⁰⁰	216	77 ^{61%}			0,30	0,251	0,252	0,258
	4 ⁰⁰	222	89 ^{61%}	381,0	26,0	0,30	0,252	0,252	0,258

Observaciones:

CINARA

IRCWD

Investigación en filtros gruesos dinámicos
Puerto Mallarino

Seguimiento Pico de Turbiedad

Fecha	Hora [1]	Turbiedad (UNT)		Sólidos Suspendidos (mg/l)		Caudal [l/s]	Pérdida de Carga		
		Aqua cruda	FGDR	Aqua Cruda	FGDR		pc1	pc2	pc3
28.9 Lu	5 ⁰⁰	216	68.69%						
	6 ⁰⁰	198	65.69%						
	7 ⁰⁰	186	65.65%	276.10	31.0				
	8 ⁰⁰	195	61.69%						
	9 ⁰⁰	156	58.63%						
	10 ⁰⁰	-	50						
	11 ⁰⁰	130	52.66%	196.10	13.10				
	12 ⁰⁰	126	44.68%						
	13 ⁰⁰	134	31.11%						
	14 ⁰⁰	112	35.11%						
	16 ⁰⁰	120	39.68%						
	17 ⁰⁰	110	25.69%						
	18 ⁰⁰	110	34.76%						
	19 ⁰⁰	115	31.78%						
	20 ⁰⁰	90	28.69%						

Observaciones:

Investigación en filtros gruesos dinámicos
Universidad Javeriana

Seguimiento Carrera de Filtración

	Fecha	Hora	Turbiedad (UNT)		Sólidos Suspendedos		Caudal (l/s)	Pérdida de Carga (m)	
			Agua cruda	FGD	Agua Cruda	FGD			
3	17.9.92	8 ³⁰	12,0	6,5 _{46%}	5,0	3,4 _{32%}	3,04 ^{x)1}	0,110 ^{x)1}	
4	18.9.92	8 ³⁰	21,0	13,0 _{38%}	38,0	11,0 _{31%}	2,59	0,085	
5	19.9.92	7 ⁰⁰	19,0	9,0 _{51%}	25,0	7,6 _{30%}	2,44	0,087	
6	20.9.92	15 ⁰⁰	13,0	7,0 _{35%}	20,0	3,5 _{45%}	2,38	0,095	
7	21.9.92	8 ⁰⁰	8,7	6,5 _{25%}	5,0	3,3 _{34%}	2,22	0,100	
1	22.9.92	8 ⁰⁰	26,0	8,6 _{39%}	51,0	5,0 _{90%}	2,10	0,130	
2	23.9.92	8 ⁰⁰	24,0	16,0 _{33%}	40,0	13,0 _{68%}	2,45 ^{x)2}	0,080 ^{x)2}	
3	24.9.92	8 ⁰⁰	55,0	29,0 _{41%}	100,7	30,5 _{30%}	2,22	0,105	
4	25.9.92	8 ⁰⁰	23,0	17,0 _{24%}	28,0	7,7 _{32%}	2,88 ^{x)3}	0,145 ^{x)3}	
5	26.9.92	8 ⁰⁰	19,0	13,0 _{32%}	21,0	7,2 _{36%}	2,58	0,155	
6	27.9.92	—	—	—	—	—	—	—	
7	28.9.92	8 ⁰⁰	195,0	61,0 _{69%}	32,0	10,7 _{61%}	2,58 ^{x)4}	0,160 ^{x)4}	
8	29.9.92	8 ⁰⁰	20,0	11,0 _{45%}	23,6	6,7 _{72%}	2,57 ^{x)5}	0,185 ^{x)5}	
1	30.9.92	7 ⁰⁰	lavó bien temprano ya el filtro, porque el caudal estaba un 0,32 l/s y la válvula ya estaba abierta					0,32 ^{x)6}	—
	%								

Observaciones:

- x)1 El fontanero abrió un poco la válvula, para llenar el tanque de Almac
 - x)2 Después del lavado, cerró un poco la válvula.
 - x)3 el 24.9.92 abrió la válvula un poco para llenar el tanque. (Como era jueves!)
 - x)4 Después de rastrear, abrió un poco la válvula, porque antes el caudal es muy bajo: Caudalantes = $\frac{1}{16}$ l/s
 - x)5 A las siete de la mañana el caudal estaba en 0.42 l/s. Por eso abrió la válvula al máximo posible, para llegar a 2.57 l/s
- No podía lavar, porque no alcanzaba el agua en el tanque de almacenamiento

Investigación en filtros gruesos dinámicos
 Universidad Javeriana

Seguimiento Carrera de Filtración

	Fecha	Hora	Turbiedad (UNT)		Sólidos Suspendidos		Caudal (l/s)	Pérdida de Carga (m)
			Agua cruda	FGD	Agua Cruda	FGD		
2	1.10.92	8 ⁰⁰	17	6,5 62%	24,0	3,8 81%	3,61	0,130
3	2.10.92	8 ⁰⁰	14	6,0 57%	14,0	3,8 73%	3,29	0,125
4	3.10.92	19 ⁰⁰	18	14,0 22%	14,0	3,4 76%	2,73	0,120
5	4.10.92	—	—	—	—	—	—	—
6	5.10.92	8 ⁰⁰	31	18,0 47%	43,0	13,0 76%	2,43	0,105
1	6.10.92	8 ⁰⁰	16	7,8 57%	15,0	2,0 87%	2,72 ^{*1}	0,175

lunes
6.10.

Observaciones:

*1 El lunes, 5.10.92, el caudal estaba en aprox. 2,00 l/s, porque abrió la válvula a las 16⁰⁰.