



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
PROYECTO ESPECIAL DE PREGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

PROYECTO INNOVADOR COMUNITARIO

PRESENTADO POR:

JUAN MANUEL CADAVID

JUAN ESTEBAN RAMÍREZ

PROFESOR:

JAIME GUILLERMO PLAZAS TUTTLE

MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA - VEREDA "LAS TORRES"

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) más de 1000 millones de personas en el mundo no tienen acceso a agua potable y otras 2400 millones no cuentan con servicios de saneamiento básico. Para las décadas siguientes se espera que estas cifras crezcan alarmantemente si no se toman drásticas medidas al respecto.

Distintas investigaciones se han venido desarrollando alrededor del mundo, con el fin de proponer alternativas tecnológicas al problema de la escasez de agua en diversos sectores del planeta. Algunas de ellas parecen ser más efectivas que otras, sin embargo, debido a sus elevados costos de construcción o a la baja disponibilidad de sus materiales, no han logrado ser implementados masivamente en poblaciones de escasos recursos económicos. Algunas de estas tecnologías son la filtración por ósmosis inversa y la ultrafiltración. A pesar de la excelente calidad del efluente tratado por estos procesos, el alto costo de las membranas necesarias para su funcionamiento es un factor limitante a la hora de implementarse en países del tercer mundo, en los cuales irónicamente se presenta la mayor escasez del recurso.

Por este motivo, han surgido alternativas más versátiles, que prometen soluciones económicas y ambientalmente sostenibles a los usuarios. Una de estas alternativas es el filtro de arena lento. Si bien este método de filtración se ha utilizado desde los comienzos de la civilización, también ha cobrado importancia en la actualidad debido a los crecientes problemas de escasez o contaminación de los recursos hídricos cercanos a los asentamientos humanos.

2. VEREDA "LAS TORRES"

La Vereda "Las Torres" se encuentra localizada en el departamento de Cundinamarca aproximadamente a 2 horas hacia el occidente de la ciudad de Bogotá, sobre la vía que de Albán conduce a Guayabal de Síquima. Se encuentra sobre la denominada Vertiente Occidental de la Cordillera Oriental, aproximadamente a 1650 msnm. Presenta una temperatura promedio de 22°C. Esta vereda está conformada por 16 hogares, siendo habitados en su mayoría por adultos mayores.

DOCUMENTO DE TRABAJO

Su sistema de abastecimiento de agua está alimentado por un tanque de 30.000 Litros elaborado en concreto reforzado. Este tanque está constantemente surtido de un pequeño nacimiento de agua localizado aproximadamente a 5 metros ladera arriba del tanque.



Imagen 1. Nacimiento de agua



Imagen 2. Tanque de concreto de 30.000 L

Debido a la mala calidad del agua suministrada por esta fuente, se han presentado frecuentes brotes de enfermedades de origen hídrico entre los habitantes, según ellos lo afirmaron. Por tal motivo, se vio la oportunidad de implementar la tecnología de filtración lenta con arena en esta vereda, con el objetivo de mejorar la calidad del recurso y por consiguiente la calidad de vida de sus habitantes.

3. FILTROS LENTOS DE ARENA

La filtración lenta con arena ha demostrado ser un tratamiento eficaz para el mejoramiento de la calidad del agua cruda, principalmente debido a su simplicidad y bajo costo. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que un adecuado diseño y un pertinente programa de mantenimiento, son requisitos indispensables en el éxito de su operación.

En un filtro de arena lento el agua percola lentamente a través de los poros de este; durante este proceso, la calidad biológica y física del agua mejora considerablemente gracias a un conjunto de procesos biológicos, bioquímicos y físicos. El mecanismo de funcionamiento de este tipo de filtros simula el proceso de purificación del agua que se lleva a cabo en la naturaleza, en el cual el agua lluvia penetra a través de los estratos de la corteza terrestre, y poco a poco va formando depósitos subterráneos conocidos como acuíferos. Los filtros lentos de arena son utilizados comúnmente debido a su alta eficiencia en remoción de turbiedad. Sin embargo, con un adecuado diseño y operación, puede considerarse como un efectivo sistema de desinfección. La formación de una capa biológica en la superficie de la arena, sirve como una barrera para que los patógenos no pasen; pues la película biológica compuesta de microorganismos consume, absorbe y cola los patógenos presentes en el agua curda.

DOCUMENTO DE TRABAJO

3.1 Diseño de filtro lento de arena para la vereda “Las Torres”

Debido a que el diseño del filtro es la primera etapa importante en el éxito del tratamiento del agua, fue necesario pensar en varios posibles diseños, de tal forma que posteriormente se seleccionara el más adecuado para este caso. En este orden de ideas, se propuso construir 2 filtros con configuraciones distintas en su lecho filtrante. Ambos diseños estarían contenidos en canecas plásticas de 40 galones cada uno. Las imágenes 3 y 4 esquematizan la configuración de cada filtro.



Imagen 3. Filtro de arena fina, arena gruesa y grava¹



Imagen 4. Filtro de arena fina y grava²

La tabla 1 muestra las propiedades típicas que cada estrato debería tener, para un adecuado funcionamiento.

Material	E (mm)	U
Arena fina	0,3 – 0,45	≤ 2
Arena Gruesa	0,7 – 1,2	≤ 2
Grava	20	-

Tabla 1. Propiedades granulométricas del lecho

Cada filtro debería mantener una cabeza hidráulica constante de 5cm, como se ilustra en las imágenes 3 y 4. . Para esto, se pensó en colocar una válvula de flotador que regulara la entrada de agua al filtro, manteniendo un borde libre de 5 cm para garantizar la supervivencia de los microorganismos presentes en la parte superior del lecho.

Adicionalmente, el sistema de recolección del agua filtrada estaría localizado en el fondo del recipiente, y tendría una configuración de espina de pescado, elaborado a partir de tubería y

¹ Imagen tomada de Presentación en Power Point: “Filtro Arena Uniandes”. Jaime Guillermo Plazas. Universidad de los Andes, Febrero de 2008.

² Ibíd.

DOCUMENTO DE TRABAJO

accesorios de PVC de ½”, perforados con aberturas de 5mm. Finalmente el agua sería conducida a través de una tubería hacia un grifo de jardín, que el usuario abriría cada vez que necesitara agua tratada. La altura óptima del grifo de jardín sería determinada en el laboratorio, de tal forma que se maximizara el caudal del efluente y al mismo tiempo se brindara comodidad al futuro usuario. En la imagen 5 se puede apreciar más claramente el sistema de drenaje del agua previamente filtrada.



Imagen 5. Sistema de drenaje del filtro³

3.2 Compra de materiales

Para la compra de los materiales necesarios se recurrió a locales especializados en artículos de PVC y sitios de venta de materiales de construcción. Los costos de los materiales para cada tipo de filtro se presentan en las tablas 2 y 3.

FILTRO ARENA FINA-GRAVA			
ITEM	v. unitario	cantidad	total
tubo 1/2"	\$ 1.333,33	2	\$ 2.666,67
tee	\$ 400,00	6	\$ 2.400,00
tapon	\$ 300,00	8	\$ 2.400,00
codo	\$ 400,00	2	\$ 800,00
flotador	\$ 16.000,00	1	\$ 16.000,00
flanche	\$ 5.500,00	2	\$ 11.000,00
soldadura	\$ 7.000,00	1	\$ 7.000,00
limpiador	\$ 3.000,00	1	\$ 3.000,00
a. hembra	\$ 300,00	2	\$ 600,00
a. macho	\$ 300,00	2	\$ 600,00
grifo	\$ 5.000,00	1	\$ 5.000,00
teflón	\$ 600,00	1	\$ 600,00
tanque	\$ 35.000,00	1	\$ 35.000,00
arena fina	\$ 12.500,00	3	\$ 37.500,00
grava	\$ 12.500,00	1	\$ 12.500,00
TOTAL =			\$ 137.066,67

FILTRO ARENA FINA - ARENA GRUESA - GRAVA			
ITEM	v. unitario	cantidad	total
tubo 1/2"	\$ 1.333,33	2	\$ 2.666,67
tee	\$ 400,00	6	\$ 2.400,00
tapon	\$ 300,00	8	\$ 2.400,00
codo	\$ 400,00	2	\$ 800,00
flotador	\$ 16.000,00	1	\$ 16.000,00
flanche	\$ 5.500,00	2	\$ 11.000,00
soldadura	\$ 7.000,00	1	\$ 7.000,00
limpiador	\$ 3.000,00	1	\$ 3.000,00
a. hembra	\$ 300,00	2	\$ 600,00
a. macho	\$ 300,00	2	\$ 600,00
grifo	\$ 5.000,00	1	\$ 5.000,00
teflón	\$ 600,00	1	\$ 600,00
tanque	\$ 35.000,00	1	\$ 35.000,00
arena fina	\$ 12.500,00	2	\$ 25.000,00
arena gruesa	\$ 12.500,00	1	\$ 12.500,00
grava	\$ 12.500,00	1	\$ 12.500,00
TOTAL =			\$ 137.066,67

Tabla 2. Costos para filtro de arena fina y grava Tabla 3. Costos para filtro de arena fina, arena gruesa y grava

Las arenas fina y gruesa y la grava fueron compradas en bultos de 50 Kg cada uno.

3.3 Construcción de los filtros lentos de arena

³ Imagen tomada de Presentación en Power Point: "Filtro Arena Uniandes". Jaime Guillermo Plazas. Universidad de los Andes, Febrero de 2008.

DOCUMENTO DE TRABAJO

El primer paso en la construcción de los filtros fue la perforación de los orificios de entrada y salida del agua para cada uno de los 2 tanques. Para este fin, se utilizó una copa sierra de ½" que facilitó este proceso. Las imágenes 6 y 7 muestran claramente este procedimiento.



Imagen 6. Perforación orificio de entrada



Imagen 7. Perforación orificio de salida

Posteriormente, se procedió a fabricar el sistema de drenaje. Inicialmente, el diseño de la espina de pescado únicamente incluía tuberías paralelas tal y como se muestra en la imagen 8. Sin embargo, debido a los bajos caudales obtenidos a la salida del grifo con esta configuración, se optó por incorporar más tubería y al mismo tiempo aumentar considerablemente el número de orificios. El nuevo y definitivo diseño se presenta en la imagen 9.



Imagen 8. Primer sistema de drenaje

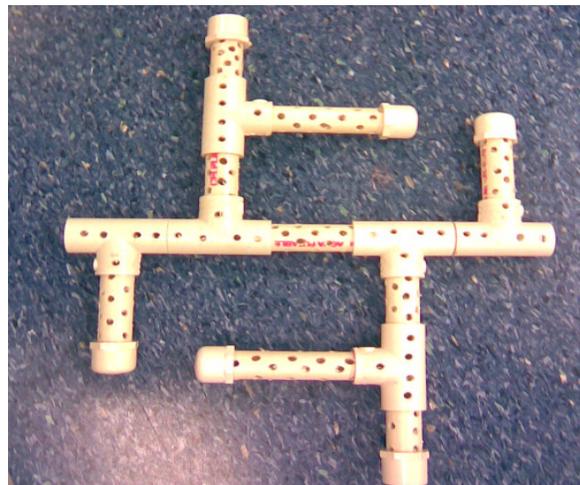


Imagen 9. Sistema de drenaje definitivo

Con base a estas modificaciones, el despiece del sistema de drenaje definitivo se muestra en el Anexo 1.

Posteriormente se instala la tubería que conduce el agua hacia el grifo y luego se marcan las alturas de cada estrato del lecho antes de adicionar la arena. Este procedimiento se aprecia en las imágenes 10 y 11.

DOCUMENTO DE TRABAJO



Imagen 10. Instalación de grifo de jardín



Imagen 11. Demarcación de las alturas de cada estrato

A continuación se realiza el lavado de los materiales que constituyen el lecho filtrante. Este proceso es de vital importancia, ya que condiciona el éxito o el fracaso del tratamiento. El lavado de las arenas y la grava es completamente necesario ya que estos materiales se encuentran mezclados con muchas impurezas que podrían generar problemas de olores, sabores y colores en el efluente. Para realizar la limpieza de los materiales más finos es necesario utilizar baldes preferiblemente de más de 10 litros de capacidad. La arena se adiciona al balde hasta llenar aproximadamente la mitad de su volumen. Posteriormente se agrega agua – no necesariamente agua potable – y se agita manualmente todo el contenido durante aproximadamente 2 minutos, verificando que la arena del fondo también sea lavada. Luego se deja reposar durante otros 2 o 3 minutos, de tal forma que la arena se sedimente y las impurezas queden disueltas en el resto del agua. Después se vacía el agua lentamente, teniendo cuidado que la arena no se escape. Este procedimiento debe realizarse varias veces hasta que el agua no presente tanta turbiedad luego de haber sido agitada. Un buen indicador del grado de limpieza es la espuma generada en el proceso. Si luego de haber sido lavada la arena, aún hay presencia de espuma en el agua, es necesario seguir con el proceso hasta que esta desaparezca.

Finalmente se realiza la instalación de la válvula de flotador y se gradúa de tal forma que ésta se cierre cuando el agua alcance los 5 cm desde el lecho filtrante. Este procedimiento se muestra en la imagen 12.



Imagen 12. Instalación de la válvula de flotador

DOCUMENTO DE TRABAJO

3.4 Puesta en marcha y pruebas técnicas

Para la puesta en marcha de los 2 filtros, se comenzó por adicionar agua potable regularmente durante un día, con el fin de “purgar” los filtros. Esto se realiza con el objetivo de eliminar las partículas más finas del lecho hasta llegar a un punto de estabilización, en el cual la turbiedad del efluente sea menor a 10 NTU. Este procedimiento se puede apreciar en el Anexo 2. Para el caso del filtro de arena fina, arena gruesa y grava, fueron necesarios 162 L de agua para lograr esta reducción en la turbiedad.

Para realizar las pruebas técnicas se decidió tomar agua del Río San Francisco a la altura de la carrera 1. El cronograma donde se estipula la cantidad y frecuencia de pruebas, tanto físicas e hidráulicas como microbiológicas, se presenta en la tabla 4.

Mes		Abril			Mayo
Semana		6-12	13-19	20-26	27-2
Actividad					
Análisis Físicos	pH		L, I, V	L, I, V	L, I, V
	Turbiedad		L, I, V	L, I, V	L, I, V
	Color verdadero		L, I, V	L, I, V	L, I, V
	Conductividad		L, I, V	L, I, V	L, I, V
	Se propone realizar medición de todos estos parámetros a la entrada y a la salida para tener una comparación. Se deben realizar todos los ensayos 3 veces a la semana.				
Análisis Microbiológicos	Coliformes totales y <i>E. coli</i> .		I + 1 blanco sem	I + 1 blanco sem	I + 1 blanco sem
	Se deben realizar dos ensayos diariamente. Para tener un control se debe sembrar 1 blanco por lo menos 1 vez a la semana. En total se realizarán 3 análisis semanales.				
Análisis Hidráulicos	Q obtenido		L, M, I, J, V	L, M, I, J, V	L, M, I, J, V
	Pérdidas a través del lecho filtrante		L, M, I, J, V	L, M, I, J, V	L, M, I, J, V
	Se debe realizar una medición de caudales y control de pérdidas entrada y salida, todos los días ojalá dos una vez en la mañana y otra en la tarde.				

Tabla 4. Cronograma de pruebas técnicas.

De este modo, se realizaron mediciones de pH, turbiedad, color verdadero y conductividad para el agua cruda – Río San Francisco- y para los efluentes de los 2 filtros, 3 veces a la semana durante 3 semanas. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.

	Fecha /Hora	ANTES				DESPUES				
		Turbiedad (NTU)	pH (-)	Conduct. (µs/cm3)	Color Verdad. (UPC)	Filtros	Turbiedad (NTU)	pH (-)	Conduct. (µs/cm3)	Color Verdad. (UPC)
1	15/04/2008	12.8	9.37	59	10	1	7.99	4.61	135.5	7
	2					7.86	6.14	84.1	7	
2	16/04/2008	9.42	7.81	76.7	7	1	4.47	7.35	89.5	10
	2					11.8	7.41	90.2	7	
3	21/04/2008	16.3	8.11	56.1	10	1	7.33	7.99	100.3	7
	2					5.96	7.03	109.3	5	
4	24/04/2008	12.7	6.8	75.4	10	1	4.03	6.35	99.4	5
	2					3.49	6.37	110.6	7	
5	25/04/2008	17.9	8.23	94.7	10	1	6.25	8.26	94.8	10
	2					8.23	8.72	112.9	10	
6	28/04/2008	12.4	8.96	92.6	10	1	3.22	8.71	98.9	7
	2					4.58	8.64	105.1	7	
7	07/05/2008	16.8	8.75	75.8	10	1	2.06	8.22	107.3	7
	2					3.47	8.21	103.8	7	
8	30/04/2008	17.5	8.56	85.8	10	1	4.08	8.32	101.5	7
	2					0.66	8.35	99.7	7	
9	07/05/2008	16.8	8.75	75.8	10	1	2.06	8.22	107.3	7
	2					3.47	8.21	103.8	7	

Tabla 5. Resultados de análisis físicos

DOCUMENTO DE TRABAJO

Por comodidad, el filtro de arena fina y grava fue designado como filtro 1 y el de arena fina, arena gruesa y grava como filtro 2. Adicionalmente, en la tabla 6 se presentan los porcentajes de remoción de los parámetros físicos para los 2 filtros.

% REMOCION				
Filtros	Turbiedad %	pH %	Conduct. %	Color Verdad. %
1	37,578	50,800	-56,458	30
2	38,594	34,472	-29,845	30
1	52,548	5,890	-14,302	-30
2	-25,265	5,122	-14,967	0
1	55,031	1,480	-44,068	30
2	63,436	13,317	-48,673	50
1	68,268	6,618	-24,145	50
2	72,520	6,324	-31,826	30
1	65,084	-0,365	-0,105	0
2	54,022	-5,954	-16,120	0
1	74,032	2,790	-6,370	30
2	63,065	3,571	-11,893	30
1	87,738	6,057	-29,357	30
2	79,345	6,171	-26,975	30
1	76,686	2,804	-15,468	30
2	84,800	2,453	-13,942	30
1	87,738	6,057	-29,357	30
2	79,345	6,171	-26,975	30

Tabla 6. Porcentajes de remoción

De igual forma, se realizaron frecuentes mediciones de caudal a la salida de ambos filtros. Para este fin, se empleó una probeta de 500ml y un cronómetro. De este modo se medía el tiempo que tomaba el agua en llenar la probeta de volumen conocido y por consiguiente se obtenía el caudal. Igualmente, las pérdidas hidráulicas fueron registradas con la ayuda de un piezómetro instalado previamente. En las tablas 7 y 8 se muestran los resultados de caudal y pérdidas hidráulicas para ambos filtros.

	Fecha	Filtro 1					T prom	Q obtenido	Q	Perdidas
		t1	t2	t3	t4	t5	(s)	(l/s)	(l/h)	hf-abierto (cm)
lunes	14/04/2008	29.53	27.72	28.99	27.81	25.14	27.84	0,01796106	64,659816	18
martes	15/04/2008	26,11	25,3	24,45	27,7		25,89	0,019312476	69,524913	23
miércoles	16/04/2008	25,65	24,29	24,36			24,77	0,02018843	72,678348	29
jueves	17/04/2008	24,31	23,71	23,55	23,24		23,7	0,02109482	75,941352	32
viernes	18/04/2008	23,22	24,99	25,123			24,44	0,020454638	73,636698	
lunes	21/04/2008	22,75	23,1	22,86			22,93	0,02181025	78,5169	22
martes	22/04/2008									
miércoles	23/04/2008	25,22	24,32	26,12			25,22	0,019825535	71,371927	31
jueves	24/04/2008	23,48	22,91	23,1			23,2	0,02155637	77,602932	27
viernes	25/04/2008	24,76	25,4	24,53			24,9	0,02008301	72,298836	
lunes	28/04/2008 *	10,98	11,12	11,12			11,05	0,02262443	81,447948	25
martes	07/05/2008	23,11	21,88	22,3			22,5	0,02222716	80,017776	27
miércoles	30/04/2008	23,45	24,54	24,34			24,11	0,020738283	74,657818	22
festivo	01/05/2008									

* Dato tomado con probeta de 250 ml

Tabla 7. Resultados de análisis hidráulicos – Filtro arena fina y grava

DOCUMENTO DE TRABAJO

	Fecha	Filtro 2					tprom	Qobtenido	Q obtenido	Perdidas
		t1	t2	t3	t4	t5	(s)	(l/s)	(l/h)	hf-abierto (cm)
lunes	14/04/2008	12	14	13.8	13.7	13.6	13.42	0,03725782	134,128152	27
martes	15/04/2008	13,12	14,42	12,19			13,243	0,03775485	135,917443	21
miércoles	16/04/2008	14,16	13,81	14,52			14,15	0,03532737	127,178532	25
jueves	17/04/2008	13,36	13,99	14,54	14,66		14,14	0,03536693	127,320948	32
viernes	18/04/2008	14,93	13,39	13,25			13,857	0,03608371	129,901371	30
lunes	21/04/2008	14,74	14,82	14,8			14,78	0,0338295	121,7862	23
martes	22/04/2008									
miércoles	23/04/2008	14,99	13,83	13,3			14,040	0,03561254	128,205128	25
jueves	24/04/2008	13,22	13,58	13,3			13,4	0,03731343	134,328348	23
viernes	25/04/2008	14,73	15,19	15,36			15,09	0,03312721	119,257956	29
lunes	28/04/2008 *	7,24	7,09	7,1			7,165	0,03489184	125,610624	21
martes	07/05/2008	14,14	14,91	14,5			14,53	0,03442341	123,924276	23
miércoles	30/04/2008	14,49	13,86	14,57			14,307	0,03494874	125,815471	19
festivo	01/05/2008									

* Dato tomado con probeta de 250 ml

Tabla 8. Resultados de análisis hidráulicos – Filtro arena fina, arena gruesa y grava

Finalmente, en la tabla 9 se muestran los resultados de las 3 pruebas microbiológicas realizadas 1 cada semana. Los análisis se realizaron tanto para el agua del Eje Ambiental – Río San Francisco – como para el agua tratada por cada uno de los 2 filtros.

	Fecha				
	/hora		Eje	Filtro 1	Filtro 2
1	15/04/2008	Blanco Sem.	Bien		
		Coliformes	7000		
	10:00 a.m	E. Coli	1200		
2	24/04/2008	Blanco Sem.	Bien		
		Coliformes	25600	incontables	4400
	11:30 a.m	E. Coli	23500	23000	200
3	09/05/2008	Blanco Sem.	Bien		
		Coliformes	600	2100	0
	10:44 a.m	E. Coli	300	0	0

Tabla 9. Resultados de análisis microbiológicos

A manera de comparación, se presentan los resultados de las pruebas microbiológicas realizadas a las muestras tomadas el 6 de mayo de 2008 en la vereda “Las Torres”. Estas muestras corresponden al nacimiento de agua, tanque de 30.000L y Casa de don Adán respectivamente.

		Nacimiento	Tanque	Casa
		06/05/2008	Blanco Sem.	Bien
	Coliformes	220	incontable	1580
	E. Coli	-	40	-

Tabla 10. Resultados de análisis microbiológicos – Vereda “Las Torres”

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A través de las tres semanas en que se llevaron las pruebas físicas, hidráulicas y microbiológicas, se obtuvieron resultados enriquecedores para corroborar las virtudes de la filtración lenta. Las pruebas microbiológicas fueron las más engorrosas por la magnitud de las precauciones que se deben tener para realizarse. Aunque no se llegó a una definición de % de remoción en el filtro

5. CONCLUSIONES

Se concluye que la filtración lenta con arena es un mecanismo efectivo para la remoción de sólidos suspendidos, como bien lo dice la teoría. Adicionalmente, puede producir reducciones de hasta 50% de color verdadero.

6. BIBLIOGRAFÍA

PLAZAS, Jaime Guillermo. Presentación en Power Point: "*Filtro Arena Uniandes*". Universidad de los Andes, Febrero de 2008.

GRAHAM, N. J. D. *Slow Sand Filtration: Recent Developments in Water Treatment Technology*. University of London. Ellis Horwood Limited, 1988.

ROMERO, Jairo Alberto. *Purificación del Agua*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2 edición, 2006.

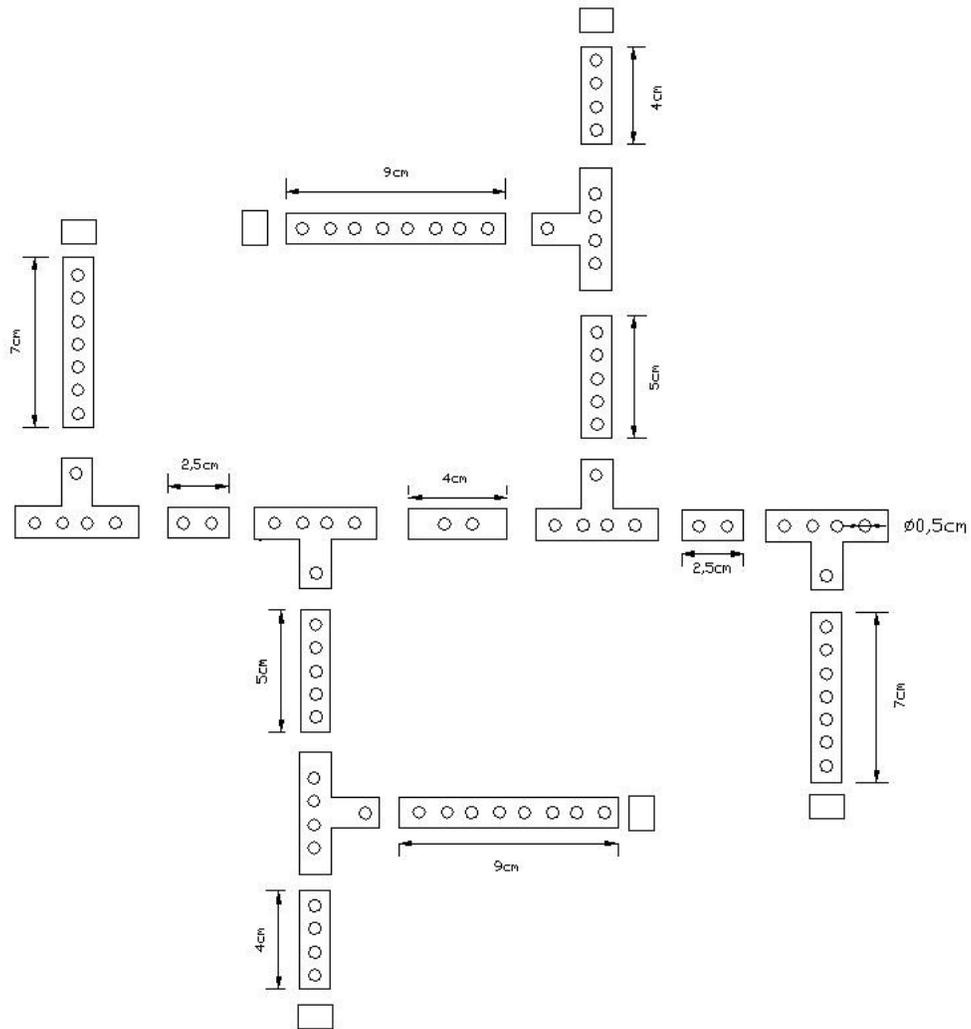
[en línea] <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo5.pdf> . Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Recuperado el 20 de mayo de 2008.

[en línea] *Reductions of E. coli, echovirus type 12 and bacteriophages in an intermittently operated household-scale slow sand filter*. Recuperado de www.sciencedirect.com el 12 de mayo de 2008.

[en línea] *Biomass development in slow sand filters*. Recuperado de www.sciencedirect.com el 12 de mayo de 2008.

DOCUMENTO DE TRABAJO

ANEXO 1



DOCUMENTO DE TRABAJO