

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE 2 LTS/S PARA UNA POBLACION DE 750 HABITANTES

Chavarro Rodríguez, Daniel Alfonso

Universidad Militar Nueva Granada, Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales

Resumen

Se diseñó una planta para el tratamiento de agua potable, constituida por un sistema de aireación, un sistema de coagulación, un sistema de floculación, un sedimentador, un sistema de filtrado y tanque de almacenamiento. La planta puede ser utilizada para el tratamiento de aguas subterráneas o superficiales. El caudal de alimentación tiene una tasa máxima de 2.0 L/S. Dada la problemática que en Colombia más del 85% de los municipios de Colombia no tienen disponibilidad adecuada de agua potable. El proyecto beneficia a todas aquellas poblaciones marginales en áreas rurales conformadas hasta por 750 habitantes.

Abstract

It was designed a plant for treatment of drinking water, consisting of an aeration system, a system of coagulation, flocculation system, a settler, a filter system and the storage tank. The plant can be used for the treatment of groundwater or surface water. The feed rate has a maximum rate of 2.0 L/S. Given the problems in Colombia more than 85% of the municipalities of Colombia do not have adequate access to drinking water. The project benefits all those marginalized populations in rural areas formed up to 750 people.

1. Introducción

Históricamente el desarrollo de los pueblos ha estado estrechamente vinculado con el agua, ya que éste es un factor importante en el desarrollo de los centros poblacionales con vocación agrícola.

Según estudios ambientales, Colombia es uno de los países más ricos del mundo en recursos hídricos, sin embargo esto es contrario a la disponibilidad de agua potable para el consumo humano. En Colombia sólo un 30% del agua está disponible para los municipios y de ese 30% sólo un 15% es agua potable y de buena calidad. Más del 85% de los municipios de Colombia no tienen disponibilidad adecuada de agua potable [4] y siendo así la calidad del agua un factor importante, ya que bacterias presentes en esta pueden generar diversas enfermedades gastrointestinales en la población.

Según la OMS, las enfermedades diarreicas son la segunda mayor causa de muerte de niños menores de cinco años, matando a 760.000 niños cada año. Pudiéndose prevenir mediante el acceso al agua potable y a servicios adecuados de saneamiento e higiene.

Adicionalmente la falta de agua para atender la demanda para riego en zonas con vocación agrícola contribuye a problemas sociales y económicos por el bajo nivel de ingresos de sus habitantes, ya que son abandonadas estas tierras dejando de ser productivas, elevando los índices de desempleo y desplazamiento en estos asentamientos marginados.

2. Materiales y Métodos

2.1. Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable

2.1.1. Dotación y Caudal de Diseño

El diseño de la planta se basó en el consumo de agua potable y un factor para caudal máximo diario por ende se determinó la población futura servida (P_f) según lo establece Corcho y Duque [3] y se calculó con la siguiente fórmula:

$$P_f = P_o \times (1 + r)^n$$

Dónde:

r: tasa de crecimiento de la población que esta entre 0.02 a 0.04.

P_o : La población actual del casco urbano del municipio

n: Periodo de proyección de la planta.

La dotación futura se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$D_f = D_o \times (1 + p)^n$$

Dónde:

p: tasa de crecimiento de la dotación que esta entre 0.001 a 0.01.

D_o : La dotación actual en Colombia, oscila entre 150 a 250 (l/hab-día).

Posteriormente se calculó el caudal máximo diario, que es resultado de multiplicar el caudal medio diario por un factor k_1 , siendo este un valor que oscila entre 1.1 a 1.4 dependiendo del tamaño de la población.

$$Q_{md} = \frac{P_f \times D_f}{1000}$$

$$Q_m = Q_{md} \times k_1$$

2.1.2. Diseño del Sistema de Aireación

Figura No 1. Torre de aeración PTAP municipio de Chiquinquirá, vereda Hato de Susa.



Para el diseño de la unidad de aireadores de bandejas de coque se tuvo en cuenta los siguientes parámetros [1, 6]:

- ✓ Cargas superficiales menores de $10 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$.
- ✓ Área de 0.5 a 2 m^2 por cada 100 m^3 de capacidad.
- ✓ De 3 a 5 bandejas.
- ✓ El espaciamiento entre bandejas de 0.3 m a 0.75 m.
- ✓ Profundidad del agua en la bandeja de aproximadamente 0.15 m.

Además se tuvo en cuenta que el lecho de coque tiene un espesor de 0.15 m a 0.3 m y el tamaño de partícula de coque de 0.05 m a 0.15 m.

Se obtuvo el área de las bandejas a partir de la relación entre el caudal máximo diario y la carga hidráulica, la cual se recomienda de 220 $\text{m}^3/\text{día}$ para obtener una remoción de hierro entre 60 y 70%.

$$A_b = \frac{Q_m}{C_h}$$

Dónde:

A_b : Área de las bandejas (m^2).

Q_m : Caudal máximo diario ($\text{m}^3/\text{día}$)

C_h : Carga hidráulica ($\text{m}/\text{días}$).

2.1.3. Selección del Sistema de Coagulación

Figura No 2. Canaleta Parshall PTAP municipio de El Peñol – Antioquia.



Acorde con el caudal de diseño (Q_d) y el caudal pico (Q_p), basados en los intervalos de medición para canaletas Parshall, según el libro de Romero [7].

$$Q_d \text{ (l/s)} = 2,02$$

$$Q_p \text{ (l/s)} = 2,02$$

Se escogieron las dimensiones de la canaleta para el intervalo entre 0.3 - 5 l/s. Estas dimensiones fueron tomadas de la referencia citada.

Tabla I. Dimensiones de la canaleta Parshall seleccionada.

Parámetro		Valor
Ancho garganta de la canaleta, (cm)	W	2,500
Longitud inclinada canal en reducción antes de garganta, (cm)	A	36,300
Localización del piezómetro en la pared de la canaleta para medir caudal, (m)	2/3A	24,200
Longitud canal en reducción antes de garganta, (cm)	B	35,600
Ancho de canal después de la canaleta, (cm)	C	9,300
Ancho de canal antes de la canaleta, (cm)	D	16,800
Profundidad pared lateral de canaleta, (cm)	E	22,900
Longitud estándar de garganta canaleta, (cm)	F	7,600
Longitud de canal en la ampliación después de la garganta de la canaleta, (cm)	G	20,300

Diferencia de altura del canal aguas arriba y aguas abajo de la canaleta, (cm)	K	1,900
Altura estándar de la rampa de canaleta, (cm)	N	2,900
Longitud de la transición de la entrada, (cm)	M	30,500
Ancho de la entrada de la transición, (cm)	P	50,000
Abscisa del punto de medición de H_a , (cm)	X	0,800
Ordenada del punto de medición de H_a , (cm)	Y	1,300
Ancho de la canaleta, (m)	Bc	0,093
Altura del agua en (1), (m)	Y1	0,013
Altura del agua en (2), (m)	Y2	0,079
Longitud del resalto, (m)	Lj	0,477
Longitud canal zona del resalto (m)	LX	0,668
Gradiente promedio en el resalto, (l/s)	G	948,386
Altura del vertedero de control, (m)	h	0,030
Altura cresta de agua sobre el vertedero, (m)	a	0,050
Ancho del vertedero (m)	b	0,093
Altura de la rampa, (m)	hr	0,029
Hacer contracción vertedero	Cv	No
Altura de lámina de agua para aforo, (m)	Ha	0,024
Angulo de inclinación de la rampa, (grados)	Alfa	20,89
Longitud de la rampa (m)	Lr	0,076

El autor Romero [7] tuvo en cuenta los siguientes parámetros de diseño para la estandarización de las canaletas Parshall según el caudal de operación:

- ✓ La velocidad mínima en la garganta debe ser mayor de 2 m/s.
- ✓ La velocidad mínima del efluente debe ser aproximadamente 0.75 m/s.
- ✓ El resalto no debe ser oscilante; es decir que el número de Froude (Fr) no debe estar entre 2.5 y 4.5.
- ✓ El número de Froude debe estar entre 1.7 y 2.5 o entre 4.5 y 9.0.
- ✓ H_a/w debe estar entre 0.4 y 0.8. Donde H_a es la altura del agua y w es el ancho de la canaleta.

2.1.4. Floculador de Flujo Forzado

Figura No 3. Floculador de flujo horizontal PTAP municipio de Ráquira – Boyacá.



El floculador se encuentra dividido por pantallas, dispuesto de forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de las mismas, además del flujo vertical el agua debe fluir por encima y por debajo de las pantallas que dividen el tanque. El diseño de la unidad cuenta con una abertura en la base de cada pantalla con un área equivalente al 5% del área horizontal del compartimiento, la cual evita la acumulación de lodos. Los principales criterios que se tuvieron en cuenta para el diseño del floculador fueron los siguientes [5, 6]:

- ✓ Tiempo de retención y gradiente de velocidad: El tiempo de retención se recomienda que este entre 12 y 20 minutos y el gradiente de velocidad debe estar entre 20 s^{-1} y 70 s^{-1} , así mismo deben determinarse las pérdidas de carga.
- ✓ Velocidad del agua: La velocidad del agua a través del tanque de 0.2 m/s a 0.6 m/s .

2.1.5. Sedimentador de Alta Tasa

Figura No 4. Sedimentador típico y/o estándar, PTAP de El Peñol - Antioquia.



El tanque debe está provisto de módulos en forma de panal, que se colocan inclinados de modo que el agua ascienda por las celdas con flujo laminar. Para el diseño del sedimentador se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos [5, 6]:

- ✓ Tiempo de retención: Debe diseñarse de manera que el tiempo de detención esté entre 10 min y 15 min.
- ✓ Profundidad: La profundidad del tanque debe estar entre 4 m y 5.5 m.
- ✓ Carga superficial: La carga superficial de la unidad debe estar entre 120 y $185 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$
- ✓ Número de Reynolds: El número de Reynolds (Re) debe ser menor a 500, se recomienda un Reynolds menor a 250.
- ✓ Módulos en forma de panal: La inclinación de las placas debe ser de 55° a 60° . El espacio entre las placas debe ser de 5 cm.

2.1.6. Diseño del Sistema de Filtración

Figura No 5. Filtros a presión PTAP del almacén Homecenter Villavicencio – Meta.



En la operación de filtración, se realiza la remoción de estas partículas que no se alcanzaron a remover en los procesos anteriores haciendo pasar el flujo a través de lechos de medios porosos en los cuales las partículas, por diferentes mecanismos, son retenidas y adheridas a estos.

El filtro puede ser de un solo medio (arena o antracita), de medio dual (arena y antracita) o lechos mezclados. Tiene una profundidad convencional de 0.6 m a 0.9 m. El principal criterio que se tuvo en cuenta para el diseño del sistema de filtrado fue [1, 6]:

- ✓ Velocidad de filtración: Este parámetro debe garantizar la eficiencia del proceso. Para el diseño se adoptó 400 m³/ (m².día).
- ✓ Numero de filtros: Para el cálculo del número de filtros (N) se utilizó la fórmula empírica de Morrill y Wallace.

$$N = 0.044 \times Q_d^{0.5}$$

Dónde:

N: Numero de filtros.

Q_d: Caudal de filtración total (m³/día)

- ✓ Altura del agua sobre el lecho: La altura del agua sobre el lecho se recomienda de 0.5 m ya que el lecho filtrante en ningún momento debe trabajar seco.

3. Resultados

3.1. Dotación y Caudal de Diseño

- ✓ Población futura servida

$$P_f = P_o \times (1 + r)^n$$
$$P_f = 500 \times (1 + 0.02)^{20}$$
$$P_f = 743 \text{ Habitantes}$$

- ✓ Dotación futura

$$D_f = D_o \times (1 + p)^n$$
$$D_f = 170 \times (1 + 0.003)^{20}$$
$$D_f = 180 \text{ l/hab-día}$$

- ✓ Caudal máximo diario

$$Q_{md} = \frac{743 \times 180}{1000}$$

$$Q_{md} = 134 \text{ m}^3/\text{día}$$
$$Q_{md} = 1.55 \text{ l/seg}$$

- ✓ Caudal medio diario

$$Q_m = 1.55 \times 1.3$$
$$Q_m = 174 \text{ m}^3/\text{día}$$
$$Q_{md} = 2.0 \text{ l/seg}$$

Los anteriores cálculos exponen que se necesita una planta de tratamiento de agua potable con una capacidad de 2.0 litros/segundo para satisfacer las necesidades de una población de 743 habitantes, que llegan a ser alrededor de 180 familias.

3.2. Sistema de Aireación

$$A_b = \frac{174 \text{ m}^3/\text{día}}{220 \text{ m/día}}$$

$$A_b = 0,7924 \text{ m}^2$$

Tabla 2. Dimensiones del sistema de aireación.

Parámetro		Valor
Numero de bandejas	Nb	3
Área de cada bandeja, (m ²)	A	1,047
Largo, (m)	l	1,023
Ancho, (m)	a	1,023
Longitud de la bandeja en el fondo, (m)	li	0,677
Diámetro bandeja parte superior, (m)	Dbs	1,155
Diámetro bandeja en el fondo, (m)	Dbi	0,808
Diámetro orificios, (m)	Do	0,0095
Separación orificios, (m)	So	0,030
Numero de orificios por fila y/o columna, (m)	No	17
Diámetro lecho carbón coque o similar, (m)	dl	0,050
Altura lecho carbón coque o similar, (m)	al	0,200
Altura de c/u de las bandejas, (m)	ab	0,300
Separación entre bandejas, (m)	Sb	0,300
Pendiente bandejas de aireación, (grados)	Pb	60
Pendiente cono de recolección, (grados)	pc	45
Altura cono de recolección, (m)	ac	0,409
Longitud del cono en el fondo, (m)	Lcf	0,205
Altura total torre de aireación, (m)	Atb	2,000

3.3. Dimensionamiento del Floculador de Flujo Forzado

El caudal de diseño para el floculador es de 2.0 litros por segundo y dependerá de las siguientes variables que se recomiendan [1, 5, 6]:

Tabla 3. Variables del sistema de Floculación.

Variable	Recomendado	Valor Tomado
Tiempo de Retención (3 sectores)	10-20 min	20 min
Profundidad Útil	1-5 m	1 metro
Separación entre Tabiques	< 0.6 m	0.15 m por mantenimiento
Velocidad Asce. y Desc.	=> 0.10 m/s	0.10 m/s
Volumen Útil	$V_U = Q \times T$	1.45 m ³
Área Superficial Útil	$A_S = V_U / H_U$	1.45 m ²
Área de un Compartimiento	$A_C = Q / V_A$	0.020 m ²
Área de un Compartimiento	$A_C = Q / V_A$	0.020 m ²

Ancho del Floculador	$B = A_C / b$	0.3 m por facilidad en la construcción
Longitud Útil	$L_U = V_U / H_U * B$	4.84 m
Nº de Compartimiento	$N_C = L_U / b$	30

✓ Orificios Superiores e Inferiores para cada Sector

Tabla 4. Nº de sectores y orificios.

Numero de sectores	3
Compartimiento para cada sector j :Ncj	10
Número de orificios inferiores por cada sector j: nij	5
Número de orificios superiores por cada sector j: nsj	5
Número de ranuras inferiores por cada sector j: nrj	5

✓ Pérdidas de Carga para cada Sector

Las pérdidas de carga en el floculador se hallan empleando la siguiente ecuación:

$$H_j = \frac{\mu \cdot t_j \cdot G_j^2}{\gamma}$$

Dónde:

G= Gradiente l/seg.
 $\mu = 0.0011 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$
 $t_j = 223 \text{ segundos}$
 $\gamma = 9790 \text{ N}/\text{m}^3$

Tabla 5. Calculo perdidas de carga.

Gradiente (l/seg)	Recomendado	Valor	Perdida de Carga (m)
G1	70 - 100	70	H1= 0.123
G2	40 - 70	50	H2= 0.063
G3	10 - 40	35	H3= 0.031

✓ Pérdidas de Carga en los Orificios Superiores e Inferiores

$$h_{ij} = \frac{H_j}{n_{ij} + 2n_{sj}}$$

Tabla 6. Perdida de carga en orificios

$h_{i1} = 0.0082 \text{ m}$	$h_{s1} = 0.0164 \text{ m}$
$h_{i2} = 0.0042 \text{ m}$	$h_{s2} = 0.0084 \text{ m}$
$h_{i3} = 0.0020 \text{ m}$	$h_{s3} = 0.0041 \text{ m}$

✓ Área de Orificios Superiores e Inferiores

Tomando los orificios superiores e inferiores cuadrados, se emplean las siguientes ecuaciones de área:

Inferior:

$$A_{ij} = \frac{Q}{Cd_{ij} + \sqrt{2gh_{ij}}}$$

$$Cd_{ij} = 0.61 (1 + 0.15k)$$

$$Cd_{ij} = 0.656$$

$$k_i = \frac{a_i + b_i}{2(a_i + b_i)} = 0.5$$

Superior:

$$A_{sj} = \frac{0.95Q}{Cd_{sj} + \sqrt{2gh_{sj}}}$$

$$Cd_{ij} = 0.633$$

$$k_s = \frac{a_s}{2(a_s + b_s)} = \frac{a_s}{2(2a_s)} = 0.25$$

Tabla 7. Área de los orificios.

$A_{i1} = 0.008 \text{ m}^2$	$A_{s1} = 0.005 \text{ m}^2$
$A_{i2} = 0.011 \text{ m}^2$	$A_{s2} = 0.007 \text{ m}^2$
$A_{i3} = 0.015 \text{ m}^2$	$A_{s3} = 0.011 \text{ m}^2$

✓ Dimensionamiento de Orificios Superiores e Inferiores

$$a_{ij} = \sqrt{A_{ij}}$$

Orificios Inferiores (cuadrados):

Tabla 8. Dimensiones de los orificios Inf.

$a_{i1} = 0.09 \text{ m}$	$b_{i1} = 0.09 \text{ m}$
$a_{i2} = 0.10 \text{ m}$	$b_{i2} = 0.10 \text{ m}$
$a_{i3} = 0.12 \text{ m}$	$b_{i3} = 0.12 \text{ m}$

Orificios Superiores (cuadrados):

Tabla 9. Dimensiones de los orificios Sup.

$a_{s1} = 0.07 \text{ m}$	$b_{s1} = 0.07 \text{ m}$
$a_{s2} = 0.09 \text{ m}$	$b_{s2} = 0.09 \text{ m}$

$a_{s3} = 0.10 \text{ m}$	$b_{s3} = 0.10 \text{ m}$
---------------------------	---------------------------

✓ Ranuras Rectangulares

$$A_{rj} = a_{rj} \cdot b_{rj}$$

a= ancho

b= largo= 2a

$$a_{rj} = \sqrt{\frac{A_{rj}}{2}}$$

Tabla 10. Dimensiones de las ranuras.

$a_{r1} = 0.02 \text{ m}$	$b_{r1} = 0.02 \text{ m}$
$a_{r2} = 0.01 \text{ m}$	$b_{r2} = 0.03 \text{ m}$
$a_{r3} = 0.02 \text{ m}$	$b_{r3} = 0.03 \text{ m}$

✓ Longitud Total del Floculador

$$L_T = (N_C \cdot b) + (N_C + 1) \cdot e$$

Dónde:

N_C = Numero de compartimientos 30.

b= Separación entre tabiques 0.15 m.

N_C+1 = Numero de tabiques 31.

e= espesor de tabiques 0.004 m.

$$L_T = (30 \cdot 0.15) + (30 + 1) \cdot 0.004$$

$$L_T = 4.6 \text{ m}$$

Se recalculan las dimensiones exactas de los orificios inferiores, superiores y ranuras; verificando el radio hidráulico, la velocidad y el gradiente de velocidad.

✓ Orificios Inferiores

$$G_{rj} = \left(\frac{\gamma \cdot N^2 \cdot V_{rj}^3}{\mu \cdot R_{rj}^{4/3}} \right)^{1/2}$$

$$V_{rj} = \frac{0.05Q}{(a_{rj} \cdot b_{rj})}$$

$$R_{rj} = \frac{a_{rj} \cdot b_{rj}}{(2a_{rj} + 2b_{rj})}$$

Dónde:

$$Q = 0.002018 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$N = 0.013 \text{ seg/m}^{1/3}$$

$$\mu = 0.0011 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$$

$$\gamma = 9790 \text{ N}/\text{m}^3$$

Tabla 11. Parámetros

Radio H. l/seg	Velocidad m/s	Gradiente l/seg
$R_{i1}=0.023$	$V_{i1}=0.249$	$G_{i1}=60.5 \leq 90$
$R_{i2}=0.025$	$V_{i2}=0.202$	$G_{i2}=41.1 \leq 60$
$R_{i3}=0.030$	$V_{i3}=0.140$	$G_{i3}=21.1 \leq 30$

Tabla 12. Áreas y Pérdidas

$A_{i1} = 0.008 \text{ m}^2$	$h_{i1} = 0.0074 \text{ m}$
$A_{i2} = 0.010 \text{ m}^2$	$h_{i2} = 0.0048 \text{ m}$
$A_{i3} = 0.014 \text{ m}^2$	$h_{i3} = 0.0023 \text{ m}$

✓ Orificios Superiores

Tabla 13. Parámetros

Radio H. l/seg	Velocidad m/s	Gradiente l/seg
$R_{i1}=0.020$	$V_{i1}=0.300$	$G_{i1}=86.3 \leq 90$
$R_{i2}=0.023$	$V_{i2}=0.237$	$G_{i2}=56.0 \leq 60$
$R_{i3}=0.025$	$V_{i3}=0.192$	$G_{i3}=38.1 \leq 30$

Tabla 14. Áreas y Pérdidas

$A_{i1} = 0.006 \text{ m}^2$	$h_{i1} = 0.0114 \text{ m}$
$A_{i2} = 0.008 \text{ m}^2$	$h_{i2} = 0.0071 \text{ m}$
$A_{i3} = 0.010 \text{ m}^2$	$h_{i3} = 0.0047 \text{ m}$

✓ Ranuras

Tabla 15. Parámetros

Radio H. l/seg	Velocidad m/s	Gradiente l/seg
$R_{i1}=0.002$	$V_{i1}=0.067$	$G_{i1}=37.1 \leq 90$
$R_{i2}=0.002$	$V_{i2}=0.067$	$G_{i2}=37.1 \leq 60$
$R_{i3}=0.002$	$V_{i3}=0.067$	$G_{i3}=37.1 \leq 30$

Tabla 16. Áreas.

$A_{i1} = 0.002 \text{ m}^2$
$A_{i2} = 0.002 \text{ m}^2$
$A_{i3} = 0.002 \text{ m}^2$

Tabla 17. Pérdidas de carga.

Gradiente (l/seg)	Recomendado	Valor	Pérdida de Carga (m)
G1	70 - 100	61.23	H1= 0.094
G2	40 - 70	48.86	H2= 0.060
G3	10 - 40	37.40	H3= 0.035

Las pérdidas totales se estiman de nuevo y los respectivos gradientes de cada sector:

✓ Resumen de Dimensiones y Datos Finales del Floculador de Flujo Forzado

Tabla 18. Resumen de dimensiones.

Parámetro	Símbolo	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Tiempo de retención, (min)	Tj	23		
Velocidad de ascenso o descenso, (m/s)	Va	0,043		
Altura del floculador, (m)	Au	1,41		
Ancho de cada compartimiento, (m)	Ac	0,167		
Ancho total del floculador, (m)	At	2,420		
Longitud de cada compartimiento, (m)	Lc	0,275		
Longitud total que recorre el agua, (m)	Ltrc	7		
Espesor de la fibra de vidrio, (m)	Efv	0,005		
Longitud total del floculador, (m)	Lt	0,846		
Número de compartimentos por sector	Nc	14		
Número de orificios inferiores	nij	7		
Número de orificios superiores	nsj	7		
Número de ranuras inferiores	nrj	14		
Pérdidas de carga para cada sector, (m)	Hj	0,192	0,119	0,049
Pérdidas totales por fricción, (m)	Ht	0,360		
Ancho o largo de los orificios infer., (m)	Aij=Lij	0,078	0,088	0,110
Ancho y Largo de los orificios super., (m)	Asj=Lsj	0,076	0,086	0,108
Ancho o largo ranuras inferiores, (m)	Arj=Lrj	0,009		
Gradientes en orificios inferiores, (1/s)	Gij	69,029	44,755	19,696
Gradientes en orificios superiores, (1/s)	Gsj	69,950	44,456	19,865
Gradiente, (1/s)	Gj	60,184	47,307	30,439
Número de Camp	G'	61087,105		

3.4. Dimensionamiento del Sedimentador de Alta Tasa

✓ Selección de la Velocidad de Sedimentación Crítica

Se diseña el sedimentador de alta tasa con la misma velocidad de sedimentación crítica con la que se diseña el sedimentador de flujo horizontal [5]:

$$V_{SC} = 25 \text{ m}^3/\text{día} \cdot \text{m}^2$$

✓ Calculo de la Velocidad entre Placas

$$V_o = \frac{V_{SC} \cdot (\sin \theta + L \cos \theta)}{\left(S + \frac{0.013 \cdot V_{SC} \cdot e \cdot \cos \theta}{\nu} \right)}$$

Dónde:

V_{sc}: Vel. Sedimentación crítica (0.00029m³/s·m²)

θ: Angulo de inclinación de las placas (60°)

e: Separación entre placas (0.06m)

L: Longitud relativa (L=l/e =10)

l: Longitud de sedimentación en placas (0.6m)

b: Ancho de las placas (0.7m)

S: Factor de eficiencia placas planas paralelas (1)

ν: Viscosidad cinemática (0.00000139 m²/seg)

$$V_o = \frac{0.00029 \cdot (\sin 60 + 10 \cos 60)}{\left(1 + \frac{0.013 \cdot 0.00029 \cdot 0.06 \cdot \cos 60}{0.00000139} \right)}$$

$$V_o = 0.002 \text{ m/seg}$$

$$V_o = 135.638 \text{ m/día}$$

✓ Área Superficial de Sedimentación entre Placas

La velocidad de flujo del agua entre placas es función del ángulo de inclinación de las placas y el área superficial del sedimentador, por lo tanto al despejar tenemos:

$$A = \frac{Q}{V_o \cdot \sin \theta}$$

$$A = 1.309 \text{ m}^2$$

Esta área es la que queda entre placas, sin considerar el espesor de las placas.

✓ Número de Placas

El número de placas por fila de 1 m se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N = \frac{Q}{e \cdot B \cdot V_o}$$

Reemplazamos y encontramos que $N=31.6021901$, aproximando a $N=32$ placas por fila de 0.7 m. Así que el número de placas por cada lado del canal distribuidor del sedimentador es $N=16$.

✓ Longitud del Tanque de Sedimentación

$$L_s = \frac{A}{B}$$

$$L_s = \frac{1.309 \text{ m}^2}{0.7 \text{ m}} = 1.87 \text{ m}$$

Debido a que esta área A , es la efectiva entre placas ósea no considera el espesor de las placas, se deberá corregir la longitud calculada con el número de placas.

$$L_s = \frac{e}{\sin \theta} \cdot (N - 1) + \frac{ep}{\sin \theta} \cdot N$$

Dónde:

E_p : Espesor de las placas (0.005m)

e : Separación perpendicular entre placas (0.06m)

θ : Angulo de inclinación de las placas (60°)

$$L_s = \frac{0.06}{\sin 60} \cdot (16 - 1) + \frac{0.005}{\sin 60} \cdot 16$$

$$L_s = 1.17 \text{ m}$$

Recalculando los valores afectados:

Tabla 19. Datos recalculados.

$A= 1.302 \text{ m}^2$	$V_o= 0.00178 \text{ m/seg}$
$V_{sc}= 0.0003336 \text{ m/seg}$	$V_{sc}= 28.82 \text{ m/día}$

✓ Calculo del Numero de Reynolds

El número de Reynolds se calcula de la siguiente ecuación [2]:

$$Re = \frac{V_o \cdot e}{\nu}$$

$$Re = \frac{0.00178 \cdot 0.06}{0.00000139}$$

$$Re = 77.24$$

Como el valor de Reynolds es menor a 500 se está garantizando flujo laminar.

✓ Resumen de Dimensiones Finales del Sedimentador de Alta Tasa

Tabla 20. Resumen de dimensiones.

Parámetro	Símbolo	Valor
Velocidad del agua entre placas, (m/día)	Vo	77,807
Ancho de sedimentador, (m)	B	2,420
Longitud del sedimentador, (m)	Ls	1,060
Profundidad del sedimentador, (m)	As	1,153
Longitud diagonal módulos de sedimentación, (m)	Ldm	0,600
Número de placas a lado y lado del canal de distribución	Np	16
Ancho del canal distribuidor, (m)	Bs	2,420
Profundidad del canal distribuidor, (m)	Y	0,160
Largo inferior del canal distribuidor, (m)	Lid	0,080
Largo superior del canal distribuidor, (m)	Lsd	0,172
Longitud diagonal del canal distribuidor, (m)	Ldm	0,185
Número de salidas del canal distribuidor	Ncd	12
Diámetro Tubería Secundaria ó salidas, (m)	dts	0,051
Espaciamiento entre la Tubería Secundaria, (m)	Ets	0,139
Longitud de la Tubería Secundaria, (m)	Lts	0,887
Coefficiente de Uniformidad Tubería Secundaria, (decimal)	Utb	1,000
Gradiente Mínimo Tubería Secundaria, (l/s)	Gmtb	11,421
Número de salidas de la Tubería Secundaria		16
Diámetro Salidas, (m)	ds	0,013
Espaciamiento Salidas, (m)	Es	0,040
Coefficiente de Uniformidad Salidas, (decimal)	Us	0,875
Gradiente Mínimo Salidas, (l/s)	Gms	21,092
Numero de canaletas de recolección a lado y lado de recolector	N	2
Ancho canaletas de recolección, (m)	bc	0,081
Profundidad Canaletas de recolección, (m)	ht	0,080
Separación entre canaletas de recolección, (m)	Sc	0,600
Ancho canal recolector, (m)	bcr	0,132
Profundidad Canal recolector, (m)	htr	0,080

3.5. Dimensionamiento del Sistema de Filtración

✓ Numero de Filtros

$$N = 0.044 \times Q_d^{0.5}$$

$$N = 0.044 \times (174.3 \text{ m}^3/\text{dia})^{0.5}$$

$$N = 0.58$$

$$N = 2$$

El valor encontrado es insuficiente, ya que se debe tener en cuenta que para el retrolavado y limpieza del mismo sistema, mínimo se debe contar con 2 filtros.

✓ Velocidad de Filtración

La tasa de filtración media es recomendada se encuentra en un rango de 175 y 470 m³/día m². El valor seleccionado es de 400 m³/día-m². [1, 6, 7].

✓ **Área total de Filtración**

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A_{TF} = \frac{Q_d}{q}$$

Dónde:

Q_d : Caudal de la planta (m³/día)

q : Velocidad de filtración (m³/día·m²)

$$A_{TF} = \frac{174.3\text{m}^3/\text{día}}{300\text{m}^3/\text{día} - \text{m}^2}$$

$$A_{TF} = 0.58\text{m}^2$$

✓ **Área Superficial para cada Filtro**

$$A_S = \frac{A_{TF}}{N}$$

$$A_S = \frac{0.58\text{m}^2}{2}$$

$$A_S = 0.29\text{m}^2$$

✓ **Diámetro de cada Filtro**

$$D = \sqrt{\frac{4A_S}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(0.29\text{m}^2)}{\pi}}$$

$$D = 0.60\text{m}$$

✓ **Resumen de Dimensiones Finales del Sistema de Filtración**

Tabla 21. Resumen de dimensiones de filtros.

Parámetro		Valor
Número de filtros	N	2
Velocidad de Filtrado, (m ³ /día - m ²)	q	300
Área de cada filtro, (m ²)	As	0,288
Diámetro de cada filtro, (m)	D	0,606
Altura capa de grava, (m)	Acg	0,200
Altura capa de arena, (m)	Aca	0,250
Altura capa de antracita, (m)	Acn	0,350
Altura de expansión del lecho filtrante, (m)	Aex	0,400

Perdidas de energía al atravesar el medio filtrante, (m)	Hfm	0,000
Altura total de cada filtro, (m)	Atf	1,700

3.6. Tanque de Retrolavado

El tanque de retrolavado se diseña para que almacene un volumen de agua suficiente para efectuar la operación de retrolavado automático de los filtros.

Tabla 22. Resumen de dimensiones tanque retrolavado.

Parámetro		Valor
Tiempo de retención o de retrolavado automático, (min)	tr	14,876
Volumen tanque de retrolavado, (m ³)	Vr	1,785
Largo superior tanque de retrolavado, (m)	Lsr	0,518
Largo inferior tanque de retrolavado, (m)	Li	0,392
Profundidad tanque de retrolavado, (m)	Hr	1,053
Ancho tanque de retrolavado, (m)	Br	2,420

4. Planos para la Construcción del Sistema de Tratamiento de Agua Potable

4.1. Torre de Aireación

Ver anexo 1

4.2. Canaleta Parshall

Ver anexo 2

4.3. Floculador de Flujo Forzado

Ver anexo 3 y 4

4.4. Sedimentador de Alta Tasa

Ver anexo 5

4.5. Sistema de Filtrado

Ver anexo 6

4.6. Tanque de Retrolavado

Ver anexo 7

4.7. Esquema General de la Planta de Tratamiento de Agua Potable

Ver anexo 8

5. Discusión

El diseño de la planta de tratamiento de agua potable, busca ajustarse a las principales necesidades que se pueden generar en las diferentes áreas rurales de Colombia, teniendo como principal objetivo aquellas poblaciones de menos de 1200 habitantes (Veredas), y no solo en busca de un desarrollo económico de las poblaciones. Además brindar una mejora en la calidad de vida de estas con el suministro y la buena calidad de agua.

Los cálculos realizados en el diseño son fundamentales ya que a partir de estos se establece el dimensionamiento y respaldan la capacidad de carga de la PTAP. Así mismo se presentan los planos constructivos al detalle con el fin que sea posible su implementación.

La Planta de tratamiento está constituida idóneamente para que el agua tratada cumpla con los parámetros físicos (color, olor, sabor, turbiedad, conductividad), establecidos en el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007.

Sin embargo para el cumplimiento de la totalidad de los parámetros de calidad del agua de la PTAP se deberá proveer un resultado de un análisis fisicoquímico y microbiológico del agua a tratar, y para la determinación de las dosis y cantidades de productos químicos a emplear se hará a través de una prueba de jarras, previa al inicio de la construcción del sistema de tratamiento.

Dentro de la fabricación de la PTAP, se propone la utilización de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), como materia prima de construcción; éste tiene una alta resistencia mecánica, sus propiedades son uniformes o no cambiantes en el tiempo y posee una altísima durabilidad (vida útil superior a 10 años), dependiendo de su mantenimiento.

Cabe destacar que esta propuesta o este diseño para que sea integral, es necesario que se contemplen una serie de actividades adicionales como: la construcción, el cargue, transporte y descargue de la PTAP, junto con la adquisición de los accesorios, equipos, tuberías y demás elementos necesarios para su posterior instalación

y puesta en marcha. Además, de un asesoramiento completo para la construcción de las obras civiles necesarias para la instalación de la PTAP (placa de soporte, caseta de equipos, encerramiento, entre otros).

Una vez finalizadas las actividades necesarias para la implementación del diseño de la PTAP se deberá llevar a cabo una capacitación para los operadores para el manejo del sistema de tratamiento, adicionalmente será necesario hacer entrega de los manuales de operación y mantenimiento de la planta.

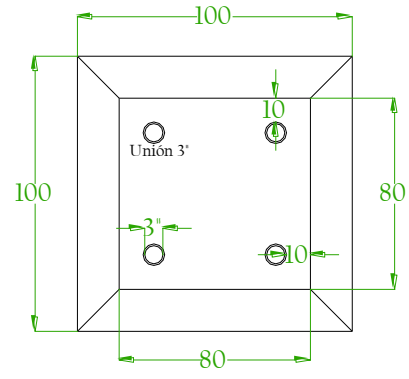
6. Conclusiones

- Con el diseño y posterior implementación de este sistema de tratamiento se pretende reducir el número de personas que todavía utilizan fuentes de agua no aptas para el consumo y mejorar la calidad de vida a las diferentes veredas marginales del país.
- La implementación de PTAP, aumentaran el acceso al agua potable, lo cual disminuirá la enfermedad y muerte de miles de niños y niñas todos los días y evitara que se conduzca al empobrecimiento y la reducción de las oportunidades para miles de personas.
- El agua potable permitirá que niños y niñas pueden disfrutar de su derecho a una educación debido a que las escuelas en las veredas cuentan con un sistema de tratamiento.
- Se contribuirá al Objetivo de Desarrollo del Milenio relativo al agua, saneamiento e higiene: reducir la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y saneamiento básico.
- Mediante este tipo de proyectos se busca ayudar a la población más vulnerable en aspectos como la salud, educación y generación de oportunidades.

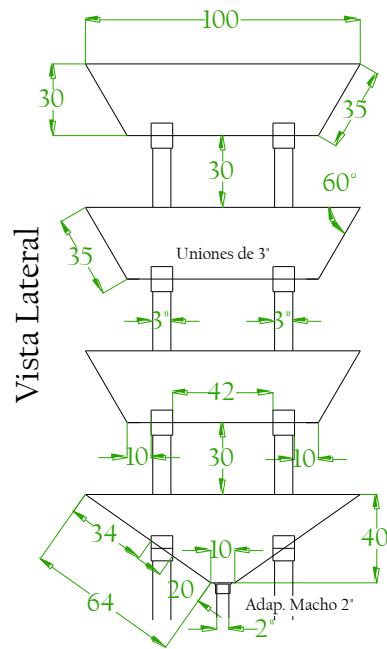
7. Bibliografía

1. Arboleda, J. Teoría y práctica de la purificación del agua, tercera edición. Mc GRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A. Santafé de Bogotá. 2000.
2. Chow, V. T., et al. Hidrología Aplicada. Mc GRAW-HILL. Santafé de Bogotá. 1994.
3. Corcho F y Duque J. Acueductos Teoría y diseño. Universidad de Medellín.
4. ENA, Estudio Nacional del Agua. 2010.
5. Materon, H. Obras Hidráulicas Rurales. Universidad del Valle. 1997.
6. RAS, 2000. Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico Ministerio de Desarrollo. 2000.
7. Romero, R. J. Purificación del Agua, Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, 2004.
8. Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. Agua, saneamiento e higiene (2014). UNICEF. Obtenido de http://www.unicef.org/spanish/wash/index_3951.html

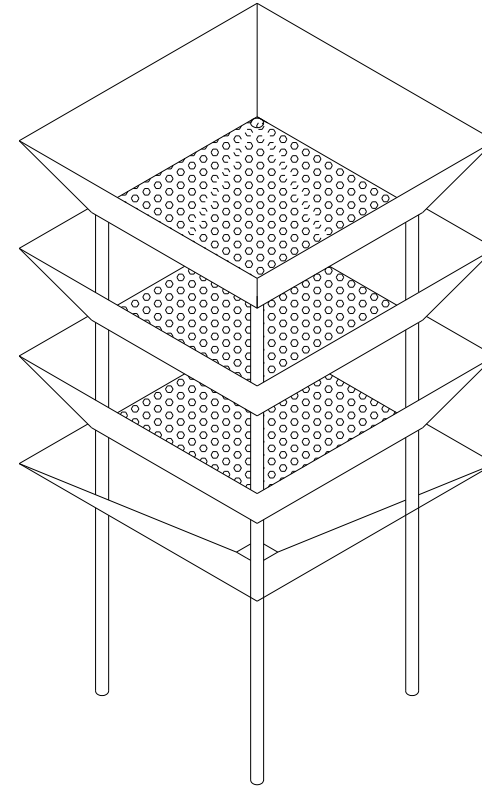
ANEXO 1



Vista Superior



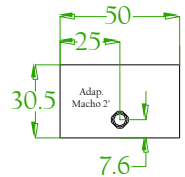
Vista Lateral



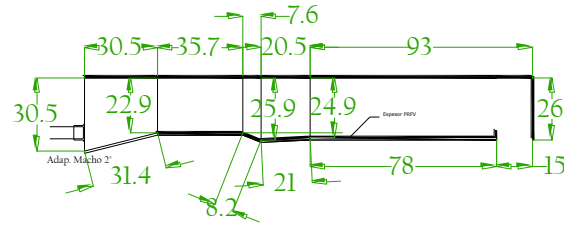
TORRE DE AIREACIÓN
Vista Isometrica

DIBUJO:	DANIEL CHAVARRO	UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA FACULTAD DE INGENIARÍA	
APROBO:		ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES	
FECHA:	03 / 05 / 2014		
ESCALA:	1 : 10	PLANO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE AIREACIÓN	PLANO 1 DE 8

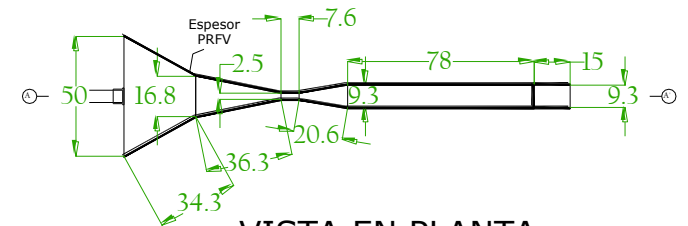
ANEXO 2



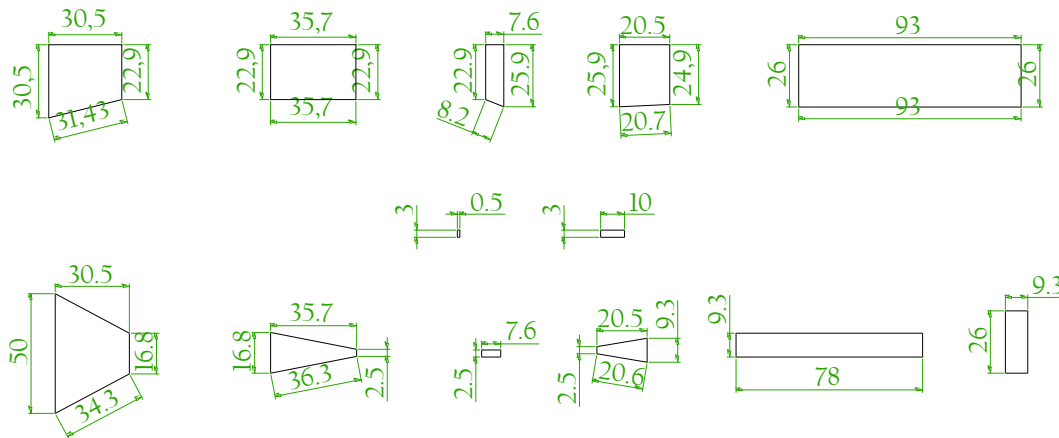
VISTA FRONTAL



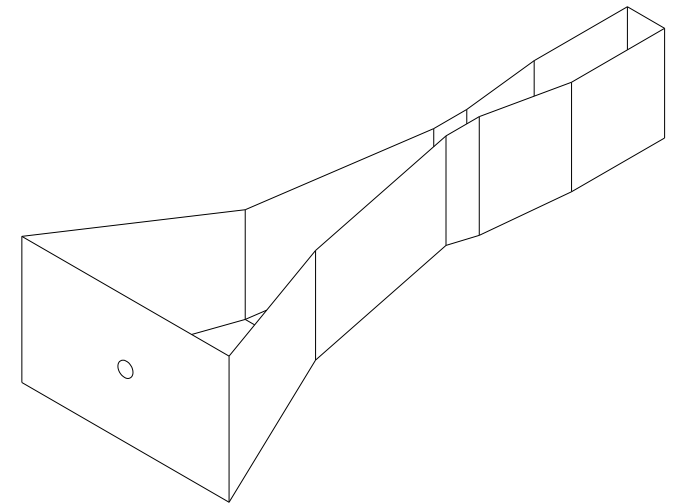
CORTE A -A'



VISTA EN PLANTA



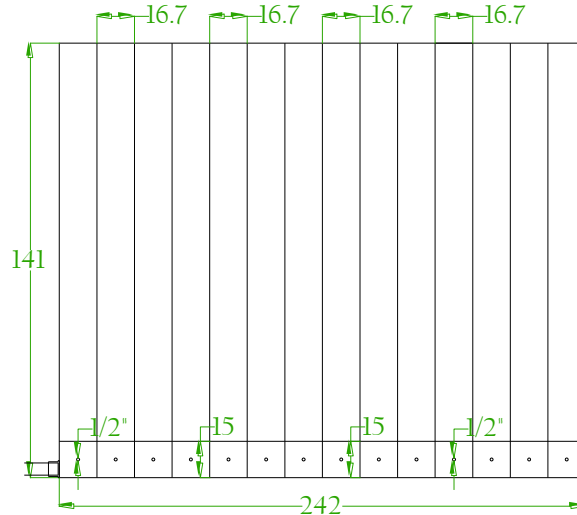
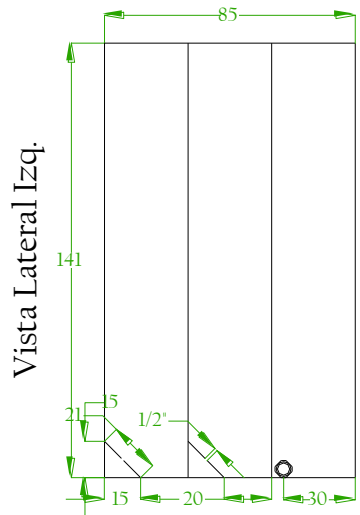
Detalle laminas individuales canaleta



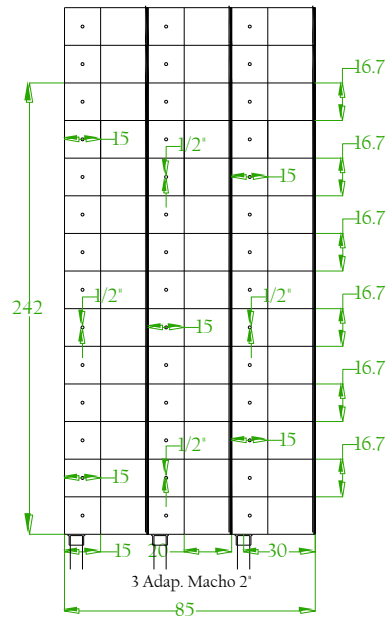
CANALETA PARSHALL
Vista Isometrica

		UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA FACULTAD DE INGENIERÍA ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES	
DIBUJO:	DANIEL CHAVARRO		
APROBO:			
FECHA:	03 / 05 / 2014		
ESCALA:	PLANO CONSTRUCTIVO DE LA CANALETA PARSHALL	PLANO 2 DE 8	
1 : 10			

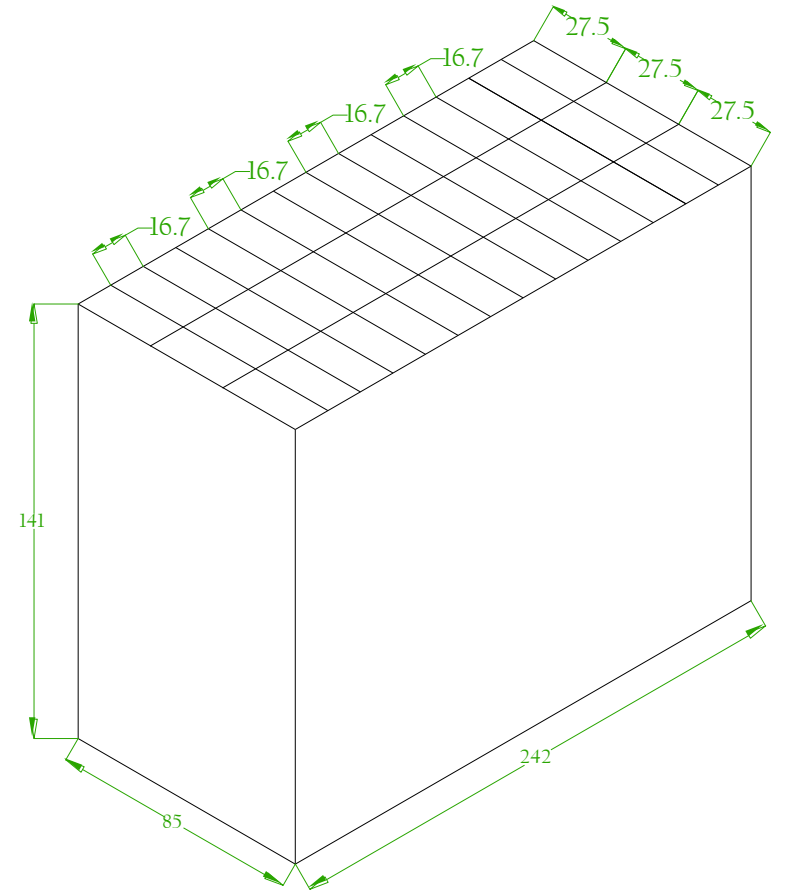
ANEXO 3



Vista Lateral Izq.



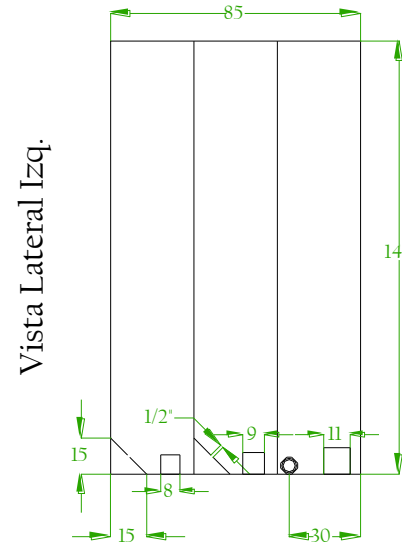
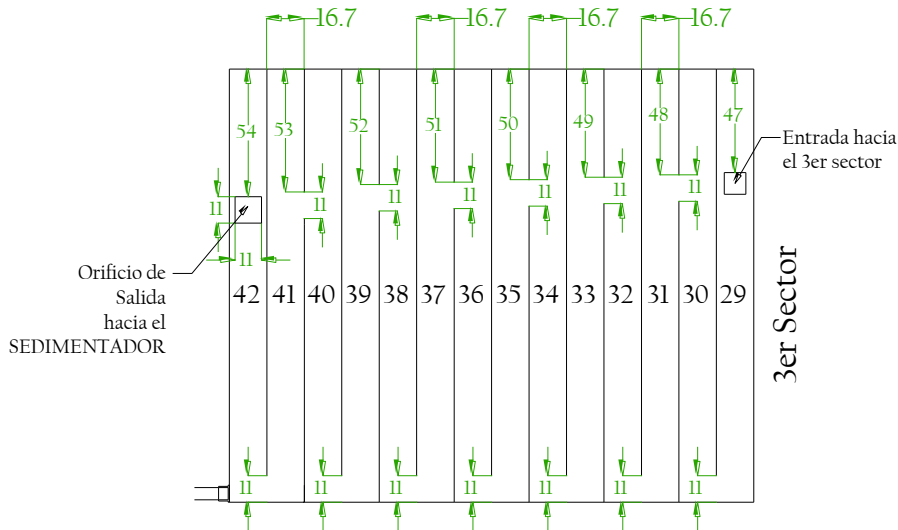
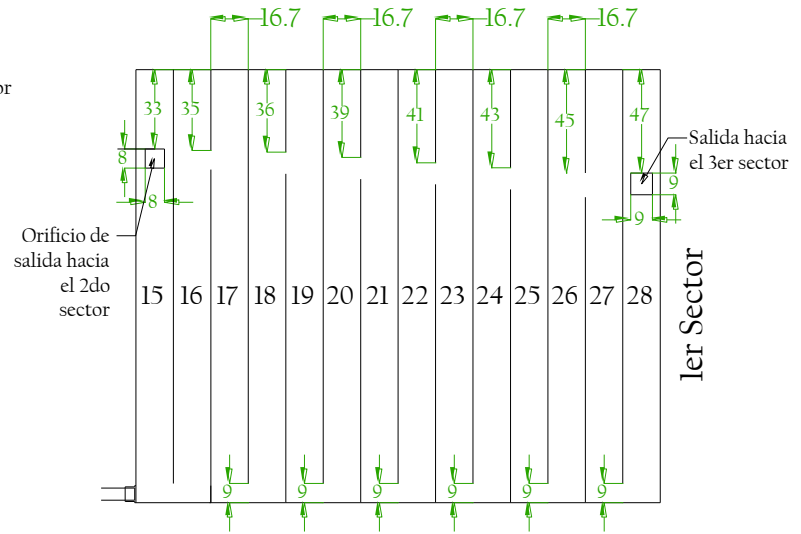
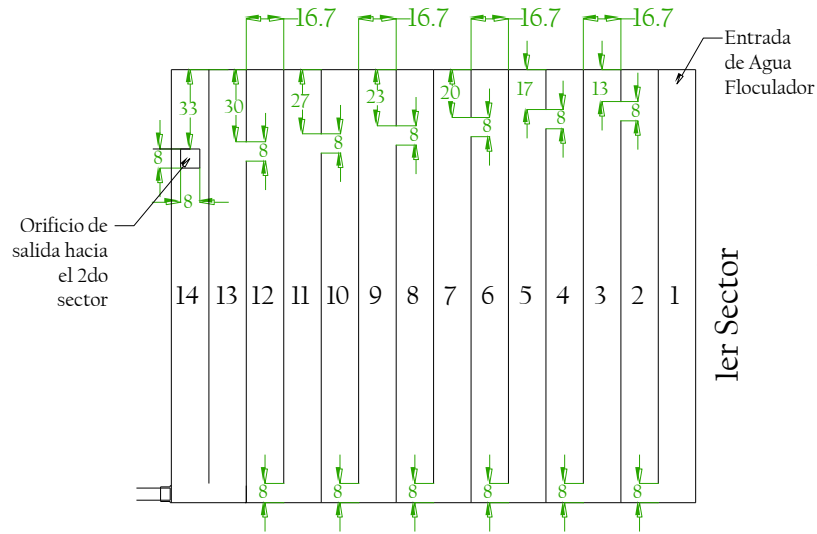
Vista Superior



FLOCULADOR VERTICAL
Vista Isometrica

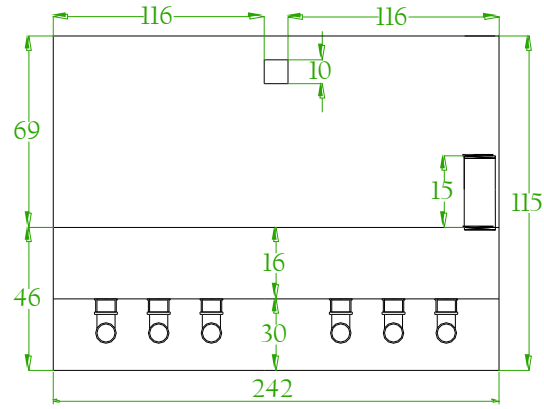
DIBUJO:	DANIEL CHAVARRO	UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA FACULTAD DE INGENIERÍA ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES
APROBO:		
FECHA:	03 / 05 / 2014	
ESCALA:	1 : 10	PLANO CONSTRUCTIVO DEL FLOCULADOR DE FLUJO FORZADO
		PLANO 3 DE 8

ANEXO 4

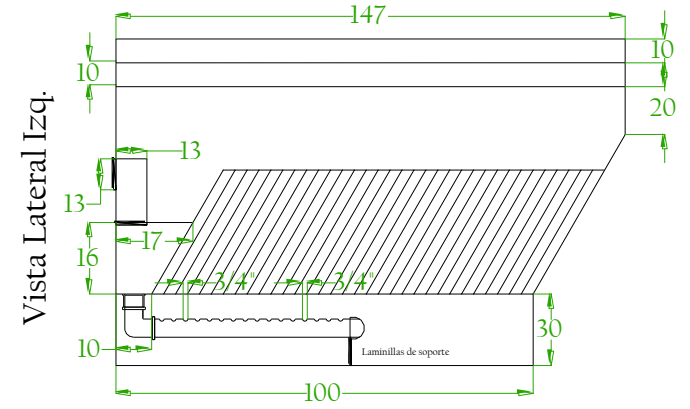


DIBUJO:	DANIEL CHAVARRO	UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA FACULTAD DE INGENIERÍA ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES	
APROBO:			
FECHA:	03 / 05 / 2014		
ESCALA:	1 : 10	DETALLE INTERNO DEL FLOCULADOR DE FLUJO FORZADO	PLANO 4 DE 8

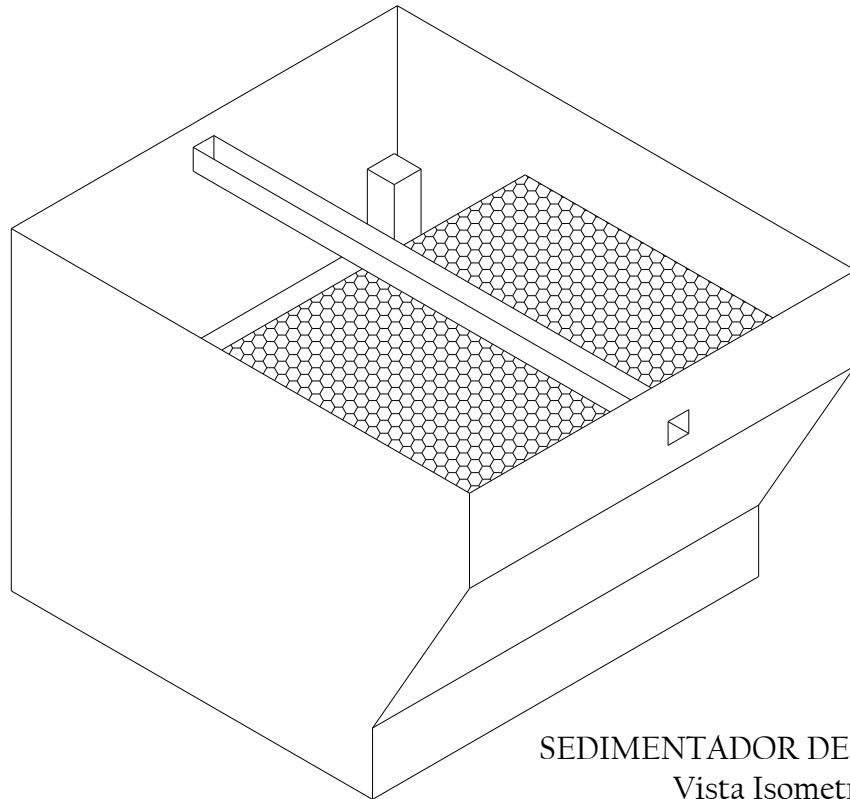
ANEXO 5



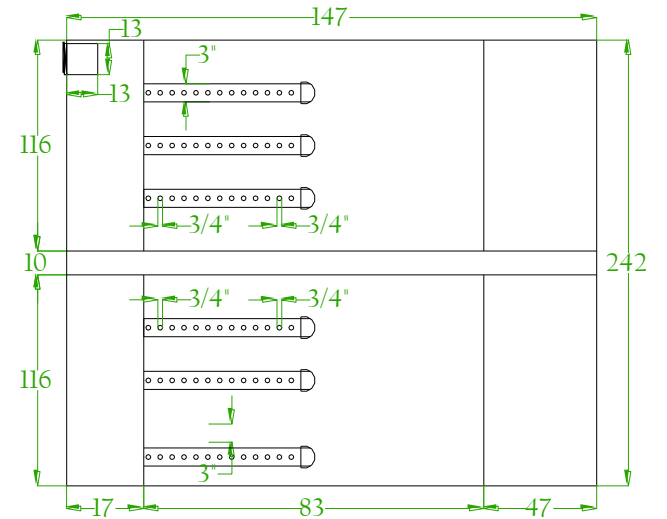
Vista Frontal



Vista Lateral Izq.



SEDIMENTADOR DE ALTA TASA
Vista Isometrica

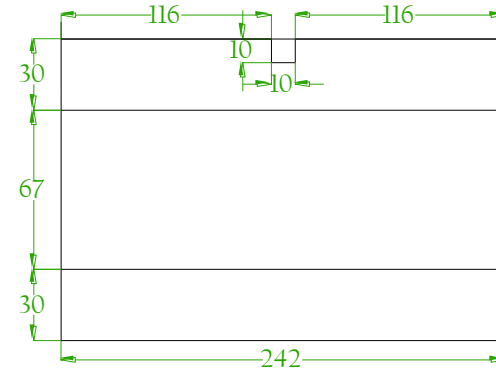
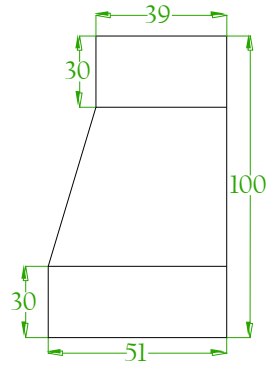


Vista Superior

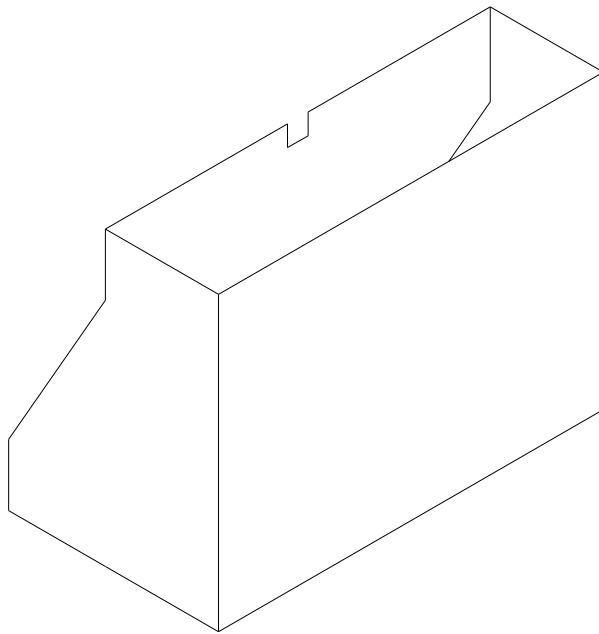
		UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
DIBUJO:	DANIEL CHAVARRO	FACULTAD DE INGENIARÍA
APROBO:		ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO
FECHA:	03 / 05 / 2014	INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES
ESCALA:	1 : 10	PLANO CONSTRUCTIVO DE SEDIMENTADOR DE ALTA TASA
		PLANO 5 DE 8

ANEXO 6

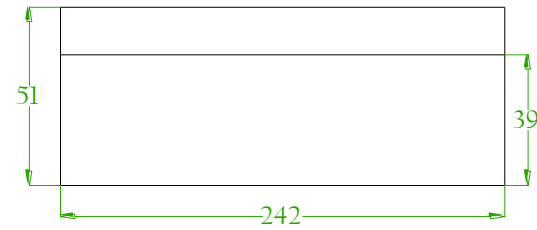
Vista Lateral Izq.



Vista Trasera



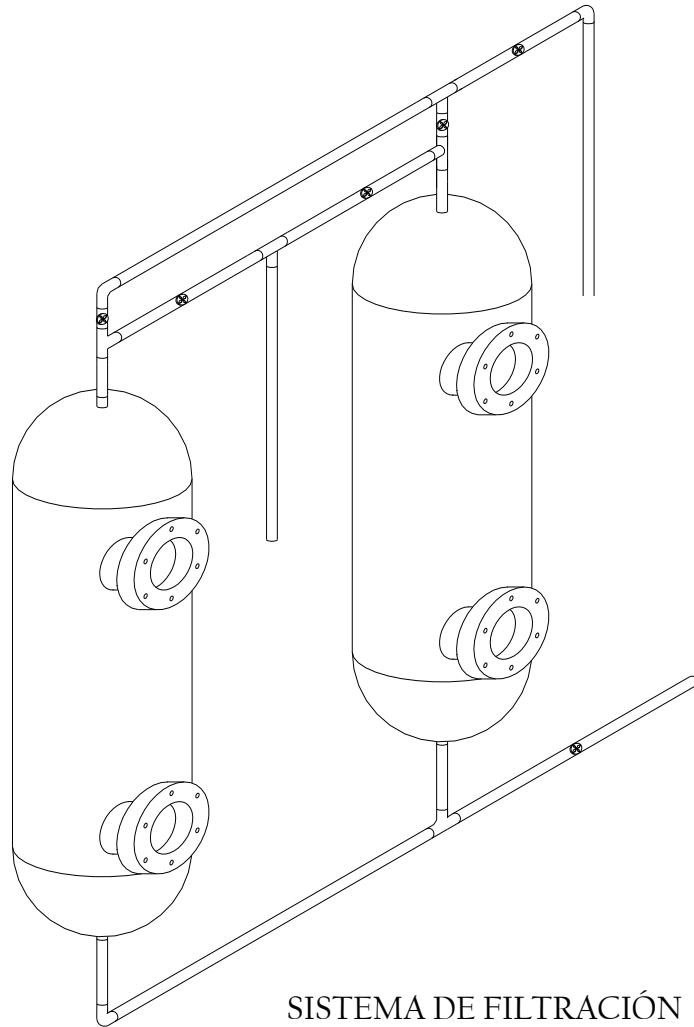
TANQUE RETROLAVADO
Vista Isometrica



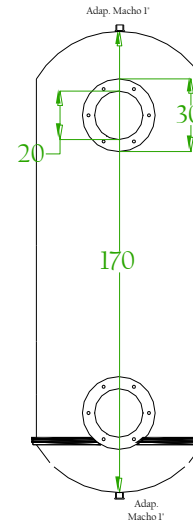
Vista Superior

		UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA FACULTAD DE INGENIARÍA	
DIBUJO:	DANIEL CHÁVARRO	ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES	
APROBO:			
FECHA:	03 / 05 / 2014		
ESCALA:	1 : 10	PLANO CONSTRUCTIVO DE TANQUE DE RETROLAVADO	PLANO 6 DE 8

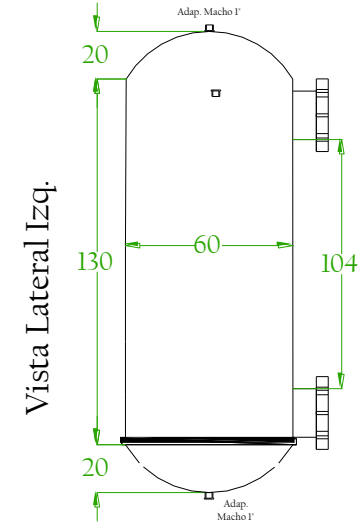
ANEXO 7



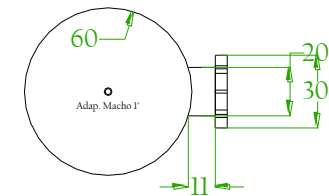
SISTEMA DE FILTRACIÓN
Vista Isometrica



Vista Frontal



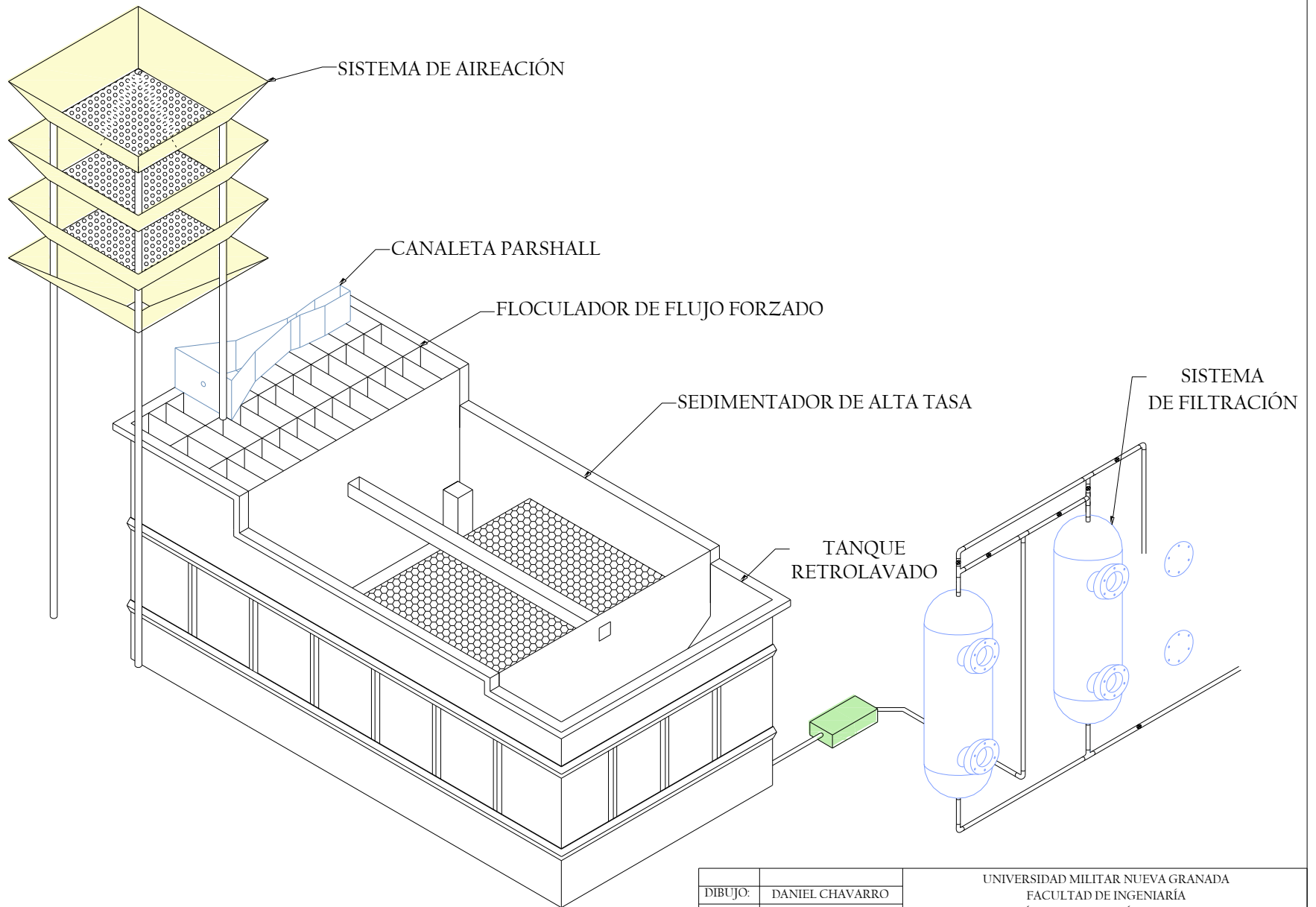
Vista Lateral Izq.



Vista Superior

		UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA FACULTAD DE INGENIERÍA ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES
DIBUJO:	DANIEL CHAVARRO	
APROBO:		
FECHA:	03 / 05 / 2014	
ESCALA: 1 : 10	PLANO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN	PLANO 7 DE 8

ANEXO 8



DIBUJO:	DANIEL CHAVARRO	UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA FACULTAD DE INGENIARÍA ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES
APROBO:		
FECHA:	03 / 05 / 2014	
ESCALA:	1 : 10	ESQUEMA GENERAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
		PLANO 8 DE 8