

**-----OPTIMIZACIÓN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS DE LA FACULTAD DE BELLAS ARTES DE LA UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

MEMORIA TÉCNICA DE DISEÑO

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN AGUA Y SANEAMIENTO – GIAS
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**

Pereira, Julio de 2017

Contenido

INTRODUCCIÓN	4
1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES – CONCEPTUALIZACIÓN	4
1.1. Pretratamiento de Aguas Residuales Domésticas.....	5
1.2. Tratamiento Primario	5
1.2.1. Tanque Séptico	5
1.3. Tratamiento Secundario	6
1.3.1. Filtro Anaeróbico de Flujo ascendente - FAFA	7
1.4. Tratamiento Terciario.....	7
1.4.1. Humedales	8
2 SISTEMA DE RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y TRATAMIENTO DE AGUAS DE AGUAS RESIDUALES – FACULTAD DE BELLAS ARTES.....	10
2.1. Información general	10
2.2. Propuesta de optimización para el tratamiento de aguas residuales	11
3 CRITERIOS DE DISEÑO	12
3.1. Tratamiento primario.....	12
3.2. Tratamiento secundario.....	14
3.3. Tratamiento terciario.....	15
4 VERIFICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES DE TRATAMIENTO	15
4.1. Tanque séptico.....	15
4.2. Filtro anaerobio de flujo ascendente.....	17
4.3. Humedal de flujo subsuperficial vertical	18
4.4. Humedal de flujo subsuperficial horizontal.....	19
5 SISTEMAS DE CONDUCCIÓN DE LOS FLUJOS	22
6 SISTEMA DE BOMBEO	22
6.1. Parámetros de diseño.....	22
6.1.1. Información Básica	23
6.1.2. Bombas sumergibles	23
7 PRESUPUESTO	24

8	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	24
9	BIBLIOGRAFÍA	24

Lista de Tablas

Tabla 1.	Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial	10
Tabla 2.	Dimensiones características de tanques sépticos	13
Tabla 3.	Valores recomendados para diseño de FAFA	14
Tabla 4.	Presupuesto global	24

Lista de Figuras

Figura 1.	Humedal de flujo subsuperficial	9
-----------	---------------------------------------	---

INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene el diseño de las unidades de tratamiento adicionales a las existentes en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de la facultad de bellas artes de la Universidad Tecnológica de Pereira, con la finalidad de mejorar su desempeño y asegurar viabilidad en el tratamiento de los vertimientos generados en los espacios construidos y a construir. Lo anterior como soporte a los trámites de gestión del permiso de vertimientos ante entidad competente.

1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES – CONCEPTUALIZACIÓN

Todos los procesos para el manejo de desechos líquidos se basan en respuestas de la naturaleza, bien sea mediante la fuerza de la gravedad que actúa en la sedimentación o mediante organismos biológicos (microorganismos) que degradan por procesos aeróbicos o anaeróbicos la materia orgánica. Los sistemas naturales para el tratamiento de aguas residuales se diferencian de los sistemas convencionales en la fuente de energía requerida para la degradación o descomposición de los contaminantes.

Los sistemas convencionales se basan en mecanismos de transformación y degradación de contaminantes que ocurren naturalmente; sin embargo, estos procesos se dan en estructuras de concreto, plásticas o de acero, mediante la adición de químicos, aireación y mezcla mecánica. Debido a la gran cantidad de energía empleada en estos sistemas, el espacio físico requerido para desarrollar las transformaciones biológicas es menor en comparación con lo que sucede en la naturaleza.

Los sistemas naturales de tratamiento requieren la misma cantidad de energía por cada kilogramo de contaminante degradado, sin embargo la fuente de energía es diferente. Ellos se basan en energías renovables que están y ocurren en la

naturaleza: radiación solar; energía cinética del viento, precipitación, así como en el almacenamiento de la energía potencial, en biomasa y en el suelo. Los sistemas naturales son intensivos en el requerimiento de área, mientras que los sistemas convencionales son intensivos en energía.

1.1. Pretratamiento de Aguas Residuales Domésticas

La separación de material grueso y sólidos gruesos sedimentables, es el paso inicial e indispensable en el concepto del pretratamiento de aguas residuales, lo cual generalmente es realizado a través de una rejilla de limpieza manual que remueve la mayor parte de los sólidos gruesos como plásticos, papel, artículos sanitarios, etc.

Todos los materiales que llegan a la planta de tratamiento de aguas residuales y no son eliminados eficazmente, pueden producir serias averías en los equipos, debido a que estos producen un gran desgaste de las tuberías y conducciones así como de las bombas. El sistema existente cuenta con rejillas de separación

1.2. Tratamiento Primario

En esta sección del tratamiento se tiene como objetivo principal la reducción de los sólidos en suspensión del agua residual (sólidos sedimentables, flotantes, coloidales).

1.2.1. Tanque Séptico

En el tanque séptico el agua permanece retenida por un período suficientemente largo, logrando así separar de las aguas residuales los sólidos sedimentables, que se depositan en el fondo y las natas flotantes que se acumulan en la parte superior.

Los tanques sépticos, son tanques que sirven simultáneamente como tanque para la sedimentación, desnatación y digestión anaeróbica de lodos, sin necesidad de mezcla ni calentamiento, además de servir como tanque de almacenamiento de lodos. En la construcción de los tanques sépticos se usan generalmente materiales como el concreto o la fibra de vidrio, aunque también se han utilizado materiales como acero, madera de secuoya y polietileno (Tchobanoglous, 2000).

En los tanques sépticos, los sólidos sedimentables que se encuentran en el agua residual cruda forman una capa de lodo en el fondo. Las grasas, aceites y demás material ligero tienden a acumularse en la superficie, donde forman una capa flotante de natas y espuma; la capa de agua por debajo de este material flotante, corresponde al agua tratada y se puede llevar para disposición en campos de infiltración o a una unidad de tratamiento posterior.

La materia orgánica retenida en el fondo del tanque es sometida a un proceso de descomposición generalmente anaeróbico, transformándose en compuestos y gases más estables como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y sulfuro de hidrógeno (H_2S).

Para limitar la descarga de sólidos en el efluente de tanques sépticos se ha usado un diseño compartimentado. Con base en mediciones realizadas, tanto en tanques de uno como de dos compartimientos, se ha comprobado que los beneficios atribuidos a estos últimos, se deben más al diseño que a la subdivisión del tanque. Un método más efectivo para reducir la descarga de sólidos sin tratamiento consiste en instalar un filtro (anaeróbico p.e) para mejorar la calidad del efluente (Tchobanoglous, 2000).

1.3. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario se usa para reducir la cantidad de materia orgánica por la acción de bacterias, es decir es el tratamiento biológico de la materia orgánica

disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente.

1.3.1. Filtro Anaeróbico de Flujo ascendente - FAFA

La función del filtro también llamado reactor anaerobio tiene por finalidad reducir su carga contaminante de las aguas servidas. Los filtros anaeróbicos son sistemas denominados de alta tasa, que han encontrado aplicabilidad en el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas.

En el filtro anaeróbico de flujo ascendente, el agua residual, con un flujo ascendente, se hace pasar uniformemente a través de un tanque empacado con un soporte sólido fuerte (grava, piedra de mano, trozos de material sintético, etc.). Sobre el soporte se genera una biopelícula, que es retenida en el medio y que es la encargada de digerir la materia orgánica. Los filtros anaeróbicos permiten la aplicación de tiempos de retención hidráulica cortos y altas cargas orgánicas, ya que su operación es bastante estable (Noyola y Morgan, 1997).

Aunque las ventajas de la digestión anaeróbica sobre la aeróbica se hacen más evidentes a medida que la concentración de materia orgánica se incrementa, diferentes estudios (Rama y Khan a finales de los 60, Genung et al, 1982, Kobayhasi et al, 1983; Pretrorius, 1981; Young y Yang, 1989; citados por Noyola y Morgan, 1997) reportan la utilización de filtros anaeróbicos en el tratamiento de aguas residuales domésticas (diluidas) con eficiencias de remoción de materia orgánica de hasta 84%.

1.4. Tratamiento Terciario

Existe una diversidad de pasos adicionales para el tratamiento terciario, sin embargo, se ha propiciado por la selección de una tecnología basada en sistemas naturales como lo son los humedales de flujo subsuperficial.

1.4.1. Humedales

Los humedales, naturales o artificiales, son sistemas de tratamiento acuático en los cuales se usan plantas y animales para el tratamiento de aguas residuales (Romero, 1999). En términos generales, los humedales artificiales pueden clasificarse en tres tipos, de acuerdo con la forma de vida de las plantas vasculares dominantes (Haberl, 1997): Sistemas de libre flotación, sistemas de raíces emergentes y sistemas subemergentes. En particular los sistemas de raíces emergentes y subemergentes, se clasifican en dos grupos, considerando la forma de alimentación, de flujo horizontal, los cuales tienen la característica de que el influente se introduce al sistema de forma lateral y de flujo vertical, en donde el influente es alimentado por la parte superior.

Los humedales construidos consisten básicamente en ecosistemas diseñados por el hombre, inspirados en la capacidad de los humedales naturales para mejorar la calidad del agua a través de la remoción de variedad de contaminantes (Gopal, B y Ghosh, D, 2009; Mena, 2008), en los cuales se llevan a cabo procesos físicos químicos y biológicos (Delgadillo et al., 2010).

En el diseño de humedales construidos se tienen en cuenta parámetros como altura laminar del agua, área específica de tratamiento, relación largo-ancho, profundidad; además de algunas características como el medio filtrante, el sistema de alimentación, las plantas, los tiempos de retención, los sistemas de aireación, la carga hidráulica, etc. (Brix y Arias, 2003; Morales, 2012). Estas variables afectan el funcionamiento de las unidades de tratamiento y son seleccionadas de acuerdo con las condiciones ambientales del sitio, los objetivos de calidad del efluente y las características del agua a tratar (Brix y Arias, 2003).

Las diferentes configuraciones de humedales, permiten clasificarlos y obtener variedad de resultados en el tratamiento de aguas residuales. Una de ellas consiste

en el sentido del flujo, lo cual genera una clasificación de gran interés y corresponde a humedales de flujo horizontal y humedales de flujo vertical (Brix y Arias, 2003).

1.4.1.1. Humedales de flujo subsuperficial

En este tipo de humedales el agua fluye por debajo de la superficie de un medio poroso sembrado de plantas emergentes. El medio es comúnmente grava gruesa y arena, con profundidades entre 0.45 y 1 m y con pendiente de 0 a 0.5% (Romero, 1999) (Ver Figura 1 y Tabla 1).

Este tipo de humedales, típicamente emplea grava como medio filtrante y con vegetación típica de este tipo de ecosistemas. El agua es mantenida debajo de la superficie del medio filtrante, fluyendo horizontalmente desde la entrada hasta la salida a través del medio filtrante, de raíces y rizomas de las plantas (Kadlec & Wallace, 2009). Dado que en este tipo de humedales el agua a tratar no se encuentra expuesta durante el proceso de tratamiento, los riesgos de exposición a patógenos para los humanos y la fauna circundante son minimizados. Además, sistemas de humedales bien operados no proveen hábitats propicios para la reproducción de mosquitos.

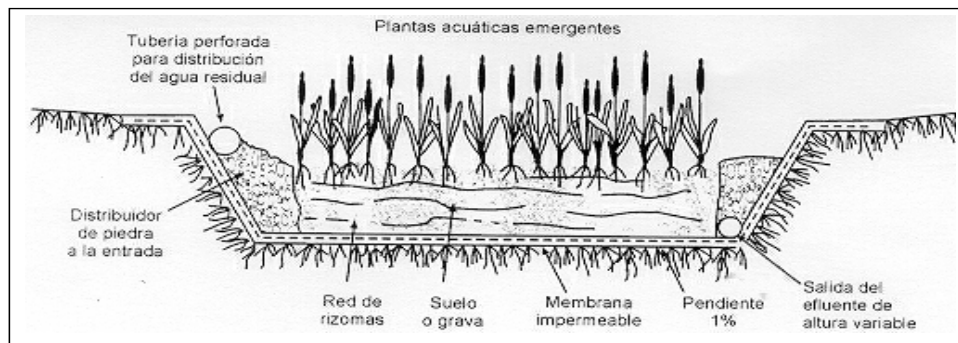


Figura 1. Humedal de flujo subsuperficial

Tabla 1. Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial

MEDIO	TAMAÑO EFECTIVO, mm	POROSIDAD	CONDUCTIVIDAD HIDRAÚLICA m/día
Arena media	1	0.30	500
Arena Gruesa	2	0.32	1.000
Arena y grava	8	0.35	5.000
Grava media	32	0.40	10.000
Grava gruesa	128	0.45	100.000

(Fuente: Tchobanoglous y Crites, 1998)

De acuerdo a la dirección de flujo los humedales pueden ser de flujo horizontal y de flujo vertical. En general la profundidad del lecho es menor para los primeros. Cualquiera sea la dirección del flujo, se debe evitar compactar el lecho, o apisonar la superficie con cualquier tipo de maquinaria pesada, ya que esto alteraría la conductividad hidráulica del mismo. La entrega del efluente se realiza mediante una tubería, construida de tal forma que regula el nivel de agua dentro del humedal.

2 SISTEMA DE RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y TRATAMIENTO DE AGUAS DE AGUAS RESIDUALES – FACULTAD DE BELLAS ARTES.

2.1. Información general

Las aguas residuales que convergen a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), provienen principalmente de las baterías sanitarias y cocinetas de la universidad ubicadas en el área de la Facultad de Artes.

Actualmente el sistema de tratamiento se compone inicialmente por tubería PVC para conducción del agua residual recolectada, cámara con rejilla para retención de sólidos de mayor tamaño, unidad de tanque séptico y filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), ambos con dos compartimientos en paralelo para fines de mantenimiento.

Finalmente el efluente final es conducido mediante tubería de material PVC hasta canal en concreto de pantallas deflectoras y escalonado en su tramo final para fines de disipación de energía del efluente final.

La fuente receptora del vertimiento es un cauce intermitente no codificado que finalmente llega al río Consota. El punto de entrega previsto tiene coordenadas X: 1'021.675 ; Y:1'153.567.

2.2. Propuesta de optimización para el tratamiento de aguas residuales

De acuerdo a los niveles de tratamiento existentes en la PTAR de la facultad de Bellas Artes, (pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario), se propone adicionar un nivel de tratamiento terciario al sistema, por medio de la instalación de humedales de flujo vertical y flujo horizontal. Se propone la conexión del efluente de la última unidad de tratamiento existente (filtro anaerobio) a las unidades de tratamiento proyectadas a través de conducción en tubería PVC. Los detalles del sistema proyectado se especifican en los planos anexos.

Como parte del proceso de diseño se evaluaron dos alternativas de localización de las unidades adicionales. La primera de estas fue descartada por los sobrecostos que involucraría en cuanto a excavaciones, estabilización de taludes y llenos, al tratarse de suelos altamente intervenidos, específicamente llenos antrópicos con residuos sólidos urbanos (ver Anexo 4, Estudio de suelos).

La segunda alternativa de localización, finalmente seleccionada, se encuentra en un lote cercano, bajo las mismas circunstancias pero con topografía menos quebrada, aunque elevada alrededor de 2 a 4 m con respecto a la ubicación de las unidades de tratamiento existentes.

Por lo anterior, y para evitar sobrecostos por excavaciones, estabilización de taludes y llenos, esta propuesta incluye la conducción del efluente del FAFA hacia los

humedales a través de un sistema de bombeo, como se detallará más adelante y como consta en los planos anexos.

Adicional a lo anterior, la propuesta de optimización involucra el cambio del material filtrante del FAFA de grava gruesa a rosetones plásticos que por su menor peso y mayor porosidad incrementarán la eficiencia de esta unidad de tratamiento, ejercerán menor carga sobre el concreto del cual está construida incrementando su vida útil, facilitarán su operación y mantenimiento y disminuirán la probabilidad de taponamientos, colmatación y/o cortocircuitos hidráulicos.

3 CRITERIOS DE DISEÑO

En este ítem se presentan los principales criterios empleados para la verificación de unidades existentes y para el diseño de los sistemas de tratamiento proyectados.

Para los cálculos hidráulicos se parte de un caudal de diseño de 0.45 L/s, de acuerdo a los resultados de los estudios de caracterización previamente realizados para las unidades de tratamiento existentes (el máximo de los QMD obtenidos es de 0,33 L/s) más un factor de seguridad equivalente al 35%.

Este caudal de diseño sirve como base para la estimación del número de contribuyentes, según el aporte recomendado en el RAS 2000 para oficinas temporales y edificios públicos o comerciales, como las instituciones educativas del tipo en cuestión.

3.1. Tratamiento primario

3.1.1. Tanque séptico

El tanque séptico se verifica teniendo en cuenta los lineamientos que se estipulan en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento, Resolución

0822 de 1998 del Ministerio de Desarrollo (RAS, 2000). Las dimensiones características de diseño se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Dimensiones características de tanques sépticos

VARIABLE		VALORES RECOMENDADOS
Profundidad	Hasta 6 m ³	1.2 - 2.2
	De 6 a 10 m ³	1.5 - 2.5
	Más de 10 m ³	1.8 - 2.8
Relación largo/Ancho		3:1
Número de cámaras		2
Longitud de la primera cámara		2/3 L

El volumen del tanque séptico se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$V = 1000 + N_c(CT + kL_f)$$

Dónde:

V = Volumen del tanque (L)

Q = Caudal de diseño (L/s)

N_c = Número de habitantes (personas)

K = Valores de tasa de acumulación de lodos digeridos de acuerdo a la temperatura

L_f = Contribución de lodo fresco (L/persona*día)

Para un tiempo de retención de 0.5 días.

Para una temperatura mayor de 20 °C el factor de acumulación de lodos digeridos (K) es de 57.

La contribución de lodo fresco por persona se asume en 0.3 litros, como factor de seguridad, pues para este tipo de establecimiento se sugiere 0.2.

Se espera que el tanque séptico obtenga remociones hasta del 50% para DBO₅, sin embargo, como factor de seguridad se proyecta una eficiencia de remoción del 40% en DBO₅. Para SST se espera una remoción mínima de 60% y 20% para coliformes fecales en esta unidad.

3.2. Tratamiento secundario

3.2.1. Filtro anaeróbico de flujo ascendente (FAFA)

Igual que el tanque séptico, el FAFA se verifica con los lineamientos y directrices consignadas en el RAS 2000 (Tabla 3), con la excepción del cambio de medio filtrante, para el cual se ha proyectado rosetones plásticos en lugar de grava.

Tabla 3. Valores recomendados para diseño de FAFA

DIMENSIONES	VALORES RECOMENDADOS
Profundidad, H (m)	0.6 – 1.8
Largo (m)	2H
Porosidad de medio	0.46 – 0.66*
Área específica del medio (m ² /m ³)	98 - 130
Tiempo de retención (horas)	2.5 – 12

El FAFA se calcula mediante la siguiente ecuación (RAS, 2000):

Respecto a este último aspecto, el Reglamento Técnico en la práctica considera que la porosidad del medio filtrante, independiente de sus características es de 0.5. La ecuación universal para estimar el volumen real del filtro es:

$$V = \frac{Q * \theta}{P}$$

Donde P es la porosidad del medio filtrante. Para medio plástico, diferentes autores y proveedores reportan porosidades del 90%, teniendo en cuenta su área superficial. Por lo anterior en el cálculo de verificación de las dimensiones del sistema se utiliza 0.9.

3.3. Tratamiento terciario

3.3.1. Humedales

En el numeral E.3.5.3 del RAS 2000 se presentan los lineamientos conceptuales para el trabajo con humedales artificiales en términos de área mínima requerida y relaciones geométricas recomendadas (para humedales de flujo subsuperficial), los diseños se realizan con base en estas recomendaciones y la literatura internacional. Se conocen principalmente dos configuraciones de humedales construidos de flujo subsuperficial, de acuerdo con la dirección del flujo: humedales de flujo subsuperficial horizontal (HFSSH) y humedales de flujo subsuperficial vertical (HFSSV).

4 VERIFICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES DE TRATAMIENTO

4.1. Tanque séptico

TANQUE SÉPTICO

Para el cálculo del volumen útil del tanque séptico el RAS recomienda el siguiente criterio:

$$V_U = 1000 + N_c (CT + KL_f)$$

Dónde:

Nc: # de contribuyentes	hab
C: Contribución/hab (asumido)	L/hab.día
T: Tiempo de retención	día
K: Tasa acumulación de lodos digeridos	Limpieza anual, T _z 20°C
Lf: Lodo fresco	L/día

Para caudales mayores a 9000 l/día, el tiempo de retención recomendado es de 0,5 días

Para un intervalo de limpieza de 1 año y $T \geq 20^\circ \text{C}$ el K recomendado es de 57

Lo recomendado para ocupantes temporales en este tipo de establecimiento, según el RAS, es una contribución de lodo fresco de 0.2 L/día. Como factor de seguridad se asume 0.3 L/día.

Volumen útil, incluyendo lodos (V_u)

$N_c =$	778	hab
$C =$	50	L/hab.día
$T =$	0.5	días
$K =$	57	
$L_f =$	0.3	L/día

$V_u =$	33737	L
	33.74	m ³

Dimensionamiento

Número de unidades:	2	trabajando en paralelo
Volumen por cada unidad =	16.87	m ³
Profundidad útil (asumida) $h_u =$	1.6	m
Para $V_u > 10 \text{ m}^3$, $1,8 \leq h_u \leq 2,8$ (RAS 2000, tabla E.3.3)		
Área (de cada unidad) = $V_u/h =$	10.54	m ²
Largo / ancho =	2	
Largo =	4.6	m
ancho =	2.30	m
Borde libre =	0.30	m
Número de compartimientos =	2	
Longitud primer compartimiento = $2L / 3 =$	3.1	m
Longitud segundo compartimiento = $L/3 =$	1.5	m
$H_T = h_u + \text{borde libre}$	1.90	m

Información de calidad esperada del efluente

Eficiencias de remoción

DBO ₅	40	%	
SST	60	%	
CF	20	%	
DBO ₅ efluente	251.8	mg/l	
SST efluente	98.3	mg/l	
Coliformes Fecales	800000	mic/100 ml	

4.2. Filtro anaerobio de flujo ascendente

FILTRO ANAEROBIO		
Tipo de medio filtrante (Grava : 1 ; Plástico 2)	2	plástico
Profundidad medio filtrante (Entre 0.6 y 1.8 m)	1.0	m
Porosidad =	0.9	
Dimensionamiento		
Tiempo de retención hidráulico (entre 4 y 12 horas)	5.25	horas
Constante de degradación DBO ₅	1.2	

Volumen total del filtro (Vf)

$$V_f = TRH * Q / p$$

$$\text{Volumen del filtro} = 9.45 \text{ m}^3$$

Dimensionamiento

Número de unidades en paralelo:	2	
A superficial (As) =	4.73	m ²
Ancho (b) =	2.30	m
Largo (L) mínimo =	2.10	m
Largo (L) real =	4.60	m
Relación L/b =	2.00	m
Borde libre =	0.6	m
Profundidad área sedimentación =	0.225	m
Falso fondo =	0.25	m
Altura medio filtrante =	1.0	m
Altura total =	2.08	m
Volumen esperado =	9.64	m ³
Volumen real =	21.12	m ³
Tiempo de retención hidráulico real (entre 2.5 y 12 h) =	13.04	horas

Velocidad ascensional

Se limita a valores inferiores de 1 m/h de modo de evitar el arrastre de sólidos

$$Vel = \frac{Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{Porosidad * As (m^2)} = 0.17 \text{ m/h}$$

Información de calidad esperada del efluente

E = 100 * (1 - k/TRH ^m)	Eficiencia de remoción =	59.8	% DBO
	Remoción SST =	70,0	%

	Remoción coliformes fecales=	0,0 %
DBO ₅ efluente		101.1 mg/l
SST efluente		29.5 mg/l
Coliformes fecales		800000 mic/100 ml

Pudo comprobarse a través del procedimiento de chequeo de capacidades hidráulicas que todas las unidades de tratamiento existentes cumplen con lo establecido en el RAS 2000.

4.3. Humedal de flujo subsuperficial vertical

DISEÑO HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL VERTICAL

$$A = Q/k \ln((C_o - C^*) / (C_e - C^*))$$

Dimensionamiento para remoción de DBO₅

Q =	14191.2 m ³ /año
k =	600 m/año
C _o	101.1 mg/l
C _e =	20.23 mg/l
C*	3 mg/l
A =	41.15 m ²

Dimensionamiento para remoción de Nitrógeno amoniacal

Q =	14191.2 m ³ /año
k =	400 m/año
C _o	152 mg/l
C _e =	15.20 mg/l
C*	0 mg/l
A =	81.69 m ²

Dimensionamiento para remoción de Nitrógeno total

Q =	14191.2 m ³ /año
K =	125 m/año

Co	164.7 mg/l
Ce=	32.94 mg/l
C*	1.5 mg/l

A=	186.97 m ²
----	-----------------------

Dimensionamiento para remoción de coliformes fecales

Q =	14191.2
K =	1000 m/año (%remoción: 90)
Co	800000 mic/100 ml
Ce=	40000 mic/100 ml
C*=	10 mic/100 ml
A=	42.52 m ²

Dimensionamiento con base en el requerimiento de oxígeno:

DBO5 afluente	101.1 mg/l
Caudal	38.88 m ³ /d
Nitrógeno amoniacal	152 mg/l
Carga DBO5	3931.9 g/d
Carga N	5909.76 g/día
Demanda de O2	29343.9 g/d
Aporte O2	120 g/m ² /d
Área requerida	244.53 m ²

Área superficial seleccionada

La mayor entre las calculadas para los diferentes requerimientos	244.53 m ²
Número de unidades	3
Área por cada unidad	81.51 m ²
Largo	11.06 m
Ancho	7.37 m

4.4. Humedal de flujo subsuperficial horizontal.

DISEÑO HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL

CALCULO HUMEDAL
 Datos de entrada

Temperatura	20 °C
Carga DBO5	786.38 g/d
DBO5 (Co)	20 mg/l
Caudal	0.5 l/s
Remoción DBO5	80 %
N-NH4	48 mg/l
Remoción N	40 %

1. Calcular la constante de remoción de DBO5 para las condiciones locales

$$K_T = K_{20} * 1.06^{(T-20)}$$

$$K_{20} = 1,1 \text{ d}^{-1}$$

$$K_T = 1,1 \text{ d}^{-1}$$

2. Calcular el tiempo de retención requerido para la remoción de DBO5 requerida

$$\text{DBO5 ef (C)} = 4.04517 \text{ mg/l}$$

$$\text{TRH} = -\ln(C/C_0)/K_T$$

$$\text{TRH} = 1,46 \text{ d}$$

3. Chequear la carga orgánica aplicada al sistema ($L_{org} < 110 \text{ KgDBO5/Ha-d}$)

$$L_{org} = C_0 * d * n / \text{TRH}$$

d= profundidad de la fase acuosa

n= porosidad

Asumimos

$$d = 0,75 \text{ m}$$

$$n = 0,4$$

$$L_{org} = 41.74 \text{ kgDBO5/ha-d (} L_{org} < 110 \text{ KgDBO5/Ha-d)}$$

$$\text{TRH real} = 1,46 \text{ d}$$

4. Determine el área superficial requerida para un medio con una porosidad de 0.4

$$A_s = Q * \text{TRH} / (n * d)$$

$$A_s = 189.62 \text{ m}^2$$

5. Determine el área requerida para remoción de coliformes fecales

$$A = Q/k (\ln((Co-C^*)/(Ce-C^*)))$$

Q =	14191 m3/año
k =	95 m/año
Co	40000 mg/l
Ce =	4000 mg/l
C* =	10 mg/l
A =	344.30 m2

6. Calcule el Área superficial requerida para el dimensionamiento

As =	344.30 m2
TRH =	2.66 d

7. Calcule el área transversal requerida respecto al flujo

Material	Grava media	1 cm
At = Q/(0.1*K*S)	Nota: se toma el 10% de K	
S:	Pendiente	
S =	1 %	
At =	3.89 m2	

8. Chequeo de la carga orgánica transversal máxima

(Se recomienda que no exceda 120 g/m²*día)

Se requiere: 6.55 m²

9. Calcule las dimensiones del sistema

Número de unidades 3

Ancho mínimo del sistema por unidad

Ancho = At/d
Ancho = 1.73 m

Longitud del sistema (se asume 4 veces el ancho)

Ancho =	5.36 m
Largo =	21.43 m

10. Dimensionamiento

Número de unidades en paralelo	3
Área de cada unidad	114.77 m ²
Área total	344.30 m ²
Ancho de cada unidad	5.4 m
Largo de cada unidad	21.4 m
Profundidad medio filtrante	0.8 m
Área transversal por cada unidad	4.29 m ²

11. Información de calidad esperada del efluente

DBO ₅ efluente	6.09 mg/l
SST efluente	2.95 mg/l
Coliformes fecales	3662 mic/100 ml
Eficiencias de remoción	
DBO ₅	69.9%
SST	90,0%
Coliformes fecales	90,85%

5 SISTEMAS DE CONDUCCIÓN DE LOS FLUJOS

En el Anexo 5 se muestran las características de las bombas a utilizar para la conducción del flujo efluente del FAFA hacia la cámara de entrega a los humedales, donde puede comprobarse que para una cabeza hidráulica de 3.5 m, a través de una tubería de Ø=3" con 66 m de longitud, la capacidad supera el caudal de diseño a conducir.

En el Anexo 6 se muestra la verificación hidráulica de la tubería para alimentación de los humedales y para evacuación del efluente unificado de los mismos hasta el cabezal de descarga.

6 SISTEMA DE BOMBEO

6.1. Parámetros de diseño

6.1.1. Información Básica

Caudal: 0.45 l/s

Tiempo de operación de cada ciclo: entre 1.5 y 2 horas.

Cálculo del volumen útil del pozo:

Se toma un tiempo de 1.85 horas, para que con el llenado del tanque durante la duración del ciclo, se aproxime a las dos horas así:

Volumen útil:

Tiempo de llenado = 1.85 horas = 6660 seg.

$VU = \text{caudal} * \text{tiempo}$

$VU = 0.45 \text{ L/s} * 6660 \text{ s} = 2.997 \text{ litros} = 3 \text{ m}^3$

Dimensionamiento

Número de unidades: 1

Volumen unidad = 3.0 m^3

Profundidad útil (asumida) $h_u = 0.85 \text{ m}$

Para $V_u = 3.0 \text{ m}^3$

$\text{Area} = V_u/h = 3.0 / 0.85 = 3.53 \text{ m}^2$

Largo asumido = 2.05 m

Ancho = $\text{área}/\text{largo} = 3.53 / 2.05 = 1.70 \text{ m}$

Borde libre = $0,70 \text{ m}$

6.1.2. Bombas sumergibles

Se recomienda instalar un sistema de bombeo con dos bombas sumergibles tipo Barnes o similar para aguas residuales con las siguientes características:

El sistema debe trabajar de forma alternativa – aditiva, para evitar fallas en la bomba de reserva, cuando no esté en uso.

Potencia = 1 HP.

Diámetro descarga = 3”.

Tablero de control tipo alternativo aditivo.

Suches de control de nivel tipo gota de mercurio.

7 PRESUPUESTO

El presupuesto de obra se detalla en el Anexo 7. En la Tabla 4 se muestran los costos totales.

Tabla 4. Presupuesto global

Presupuesto Total - Optimización PTAR Bellas Artes	
COMPONENTE	VALOR
Alcantarillado	\$ 80,936,505
Optimización tanque séptico	\$ 24,065,696
Tratamiento terciario	\$ 276,518,018
Sistema de bombeo	\$ 21,903,954
COSTO TOTAL	\$ 403,424,174

8 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En el Anexo 3 se muestran los aspectos propios de operación y mantenimiento de las nuevas unidades a operar (Sistema de bombeo y Humedales verticales y horizontales de flujo subsuperficial).

9 BIBLIOGRAFÍA

Haberl, R. Constructed Wetlands in Europe with emphasis to Austria. En Memorias Tercer Seminario Internacional de Expertos en Tratamiento de Efluentes Industriales y residuos. México, D.F. 1997

Ministerio de Desarrollo Económico, 1998. Reglamento Técnico del sector Agua Potable y saneamiento Básico. Resolución 0822 de 1998 RAS. Santafe de Bogotá.

Noyola A., Morgan F. Tratamiento anaeróbico de aguas residuales - proceso de digestión anaeróbica. En: Foro Internacional, Comparación y complementación de tecnologías en aguas residuales domésticas para comunidades. Cali 1997.

Romero, J. A. 1999. Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño. Colombia.

Tchobanoglous, G., Crites, R. Small and decentralized wastewater management systems. McGraw-Hill, Inc. New York. 1998.

Tchobanoglous, G., Crites, R. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. 2000

