

**PLANTA DE TRATAMIENTO**  
**Proyecto:**  
**PLANTA DE TRATAMIENTO**  
**AGROLIMON**  
**MEMORIA DE CÁLCULO**  
**SIATEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS**  
**RESIDUALES**

**20,000 M3/día**

**PROVINCIA: PANAMA OESTE**  
**CORREGIMIENTO: BARRIO COLON**  
**DISTRITO: LA CHORRERA**

**PROFESIONAL RESPONSABLE**  
**MULTISERVICIOS FREENZA**  
**INGENIERO CIVIL. JAVIER E. BOTACIO**

**FECHA: OCTUBRE / 2023**

## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	2
2.	ETAPAS DEL PROYECTO .....	4
3.	SISTEMA PROPUESTO.....	4
4.	COMPONENTES DEL SISTEMA.....	5
5.	CARGA HIDRAULICA .....	7
5.1.	Caudal promedio de diseño (QP) .....	7
5.2.	Caudal máximo diario (QMD) .....	7
5.3.	Caudal máximo horario (QMH).....	7
6.	CARGA CONTAMINANTE .....	7
7.	CRITERIOS DE DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO.....	8
7.1.	Caja de rejas .....	8
7.2.	Dispositivos para medir caudal.....	11
7.3.	Tanque de aireación .....	12
7.4.	Sedimentador secundario .....	14
7.5.	Digestor de lodos y lechos de secado.....	15
7.6.	Sistema de desinfección, punto de aforo y toma de muestras .....	17
7.7.	Unidad de Aforo.....	17
7.8.	Requerimiento de aire.....	17
8.	EQUIPO .....	20

## 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto PLANTA DE TRATAMIENTO AGRO LIMÓN, a desarrollado ya con anticipación se localiza en la localidad dentro del Proyecto Residencial Limón, ubicado en la comunidad de El Limón, Corregimiento de Barrio Colón, Distrito de la Chorrera, Provincia de Panamá Oeste.

El proyecto consiste en un complejo residencial de casas. Todo están comunicado por una calle principal con derecho de vía de 12.80 metros y calles secundarias con un derecho de vía de 10.5 m.

El tratamiento al agua residual del proyecto será proporcionado por la empresa ( Multiservicios Freenza). Se plantea una planta de tratamiento para el tratamiento de aguas residuales modelo 26 K sin motores. Se considera un 80% de retorno, que da como resultado un caudal medio diario de aguas residuales de 20.000 m<sup>3</sup>/día.

Las cargas hidráulica y orgánica correspondientes al proyecto se describen en la sección 5 y 6 respectivamente.

El sistema de tratamiento de aguas residuales que se utilizará es tecnología aeróbica de tipo aireación extendida, por lo que se estima una eficiencia de remoción de 95% a 98%. La organización de la planta de tratamiento y la distribución de oxígeno en ella permiten que el sistema biológico mantenga controlado por sí mismo la producción de lodo, por lo que disminuye la necesidad de permanecer extrayendo dicho material.

El ingreso del agua al sistema de tratamiento y la descarga se realizan por gravedad. La descarga es por vertido en un sistema de infiltración . El tratamiento con filtro percolador anaeróbico y el vertimiento final será en un sistema de infiltración y percolación natural en el suelo.

La planta de tratamiento de aguas residuales será de tipo biológico aeróbico con filtro percolador.

Se compone de las siguientes secciones:

- Pre tratamiento
- Reactor biológico filtro percolador anaeróbico
- Desinfección final y vertimiento
- Campo e infiltración en el suelo con sistema de tanque plásticos específicos para ese servicio.
- Los valores de salida de la PTAR corresponden a los establecidos por la norma COPANIT 35- 2019 “DESCARGA DE EFFLUENTE LIQUIDO DIRECTAMENTE A CUERPOS Y MASAS DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS.”

***Ubicación del proyecto y de la PTAR dentro del proyecto.***

Dirección exacta (Referencia con coordenadas geográficas) del sitio donde se instalará la planta de tratamiento . Ubicado en la comunidad de El Limón , Corregimiento de Barrio Colón, Distrito de la Chorrera, Provincia de Panamá Oeste



<b>Punto</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
1	637182.40	985210.05
2	637191.40	985222.91
3	637218.41	985205.83
4	637209.02	985192.95

## 2. ETAPAS DEL PROYECTO

La planta de tratamiento se desarrollará en paralelo al desarrollo del proyecto en una sola etapa. El área de la planta de tratamiento es de aproximadamente 460 m<sup>2</sup> o menor.

## 3. SISTEMA PROPUESTO

El sistema propuesto se conoce como **aireación extendida**, de tipo biológico. El tratamiento consiste en poner en contacto el agua residual a degradar con una masa microbiana compuesta por bacterias aeróbicas, bajo condiciones ambientales controladas, donde la inyección de aire se da en períodos largos. El fin que se persigue es optimizar la descomposición de la materia orgánica y disminuir la cantidad de lodo residual. Entre las características del sistema están: alta remoción de DBO, impacto ambiental mínimo, ausencia de malos olores, tamaño compacto, fácil de operar y mantener.

Las unidades básicas que componen el sistema de tratamiento propuesto, son típicas de un tratamiento que opera mediante el principio de lodos activados por aireación extendida, en donde se provee un tratamiento preliminar de separación de sólidos gruesos (unidad de cribado), un tratamiento secundario de oxidación biológica de la materia orgánica (reactor de aireación y sedimentador secundario) y un sistema de cloración.

Entre las peculiaridades del sistema se tendrá un tanque de aireación dividido en cámaras pequeñas con un sistema de inyección y distribución de aire cada una. El agua residual ingresa al tanque de aireación y es mezclada con lodo activado recirculado del sedimentador. El sedimentador recibe el agua tratada del tanque de aireación con la función de separar por gravedad los sólidos suspendidos y descargar el efluente clarificado hacia la salida. Parte del lodo sedimentado es recirculado al tanque de aireación para inocular el agua residual cruda (afluente) donde el proceso vuelve a comenzar. El lodo fino residual del sedimentador es regresada a la cámara final de aireación por medio de un sistema de desnatadores superficiales.

Debido a la organización de la planta de tratamiento y la distribución de oxígeno en ella se mantienen controlada la producción de lodo, por lo que disminuye la necesidad de estar extrayendo dicho material. Por dicha razón se opta por retirar los lodos del sistema mediante cisterna cuando se obtenga una concentración mayor o igual al 60% en el tanque de aireación (medido mediante el cono Imhoff).

## 4. COMPONENTES DEL SISTEMA

A continuación se describen los principales elementos que conforman el sistema de tratamiento:

### **Cámara de entrada**

La cámara de entrada recibe las aguas residuales provenientes del sistema sanitario, separa los sólidos mayores, los cuales podrían afectar el funcionamiento de las unidades posteriores. Utiliza una rejilla metálica y reduce la turbulencia de entrada.

La cámara de entrada cuenta con un sistema de vertedero triangular para la medición de caudal, descrito en la Sección 7.2.

### **Tanque de aireación**

Es un reactor biológico aeróbico en donde se dan las reacciones bioquímicas responsables de la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales crudas.

Este tanque está dividido en varias cámaras independientes e interconectadas por las cuales se recibe el agua cruda que proviene de la cámara de entrada. Aquí se mantienen condiciones aeróbicas por medio de la inyección de aire comprimido, en un período de 18 horas. La distribución del aire, y la dilución de oxígeno en las aguas, se logra por medio de difusores de burbuja fina presentes en cada cámara de aireación que distribuyen el aire en forma de microburbujas.

El buen funcionamiento del proceso depende de mantener en el tanque una concentración de biomasa constante, esto se logra recirculando parte de los lodos decantados en el sedimentador, de nuevo al tanque de aireación, donde se mezclan con el agua cruda afluente.

### **Tanque sedimentador secundario**

Permiten la decantación de los lodos activados producidos como resultado de la actividad biológica que se desarrolla en el tanque de aireación, de donde resulta un efluente clarificado. Dichos lodos se concentran en el fondo de la tolva del tanque y los residuos flotantes que se acumulan en la superficie de este, son recirculados al tanque de aireación mediante un sistema de gravedad. El lodo activado en exceso en el sedimentador es recirculado automáticamente al inicio del proceso del tanque de aireación. El sistema mantiene una producción de lodo activado constante entre el 300 y 600 mg/l. El excedente superior a este rango puede ser extraído por una empresa autorizada para realizar dicha extracción.

## Sistema de desinfección, punto de aforo y toma de muestras

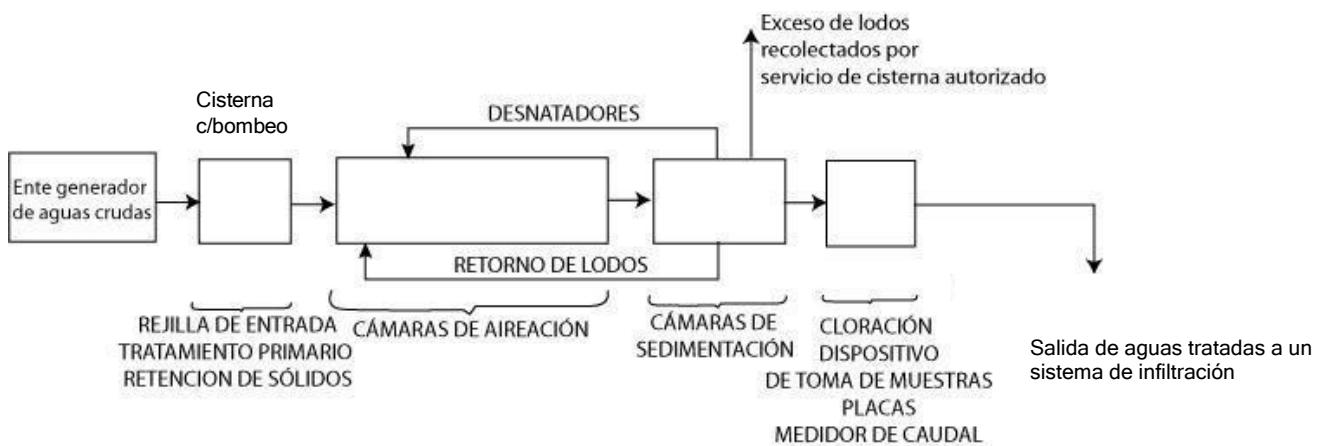
Al final del sistema se instalará un clorador por pastillas, seguidamente el agua tratada pasará por una sección en donde se podrán colocar placas removibles que le permitirá al operador obtener el caudal de agua en el momento por el método de vertederos descrito en la sección 6.2.

Habrá una unidad que permitirá la toma de muestras de aguas tratadas por parte de un laboratorio externo para la presentación de reportes operacionales.

### Diagrama de Flujo

El sistema se resume con el siguiente diagrama de flujo.

Ilustración 1. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento



## 5. CARGA HIDRAULICA

Debido a la naturaleza del proyecto se presenta la carga hidráulica generada por las residencias.

### 5.1. Caudal promedio de diseño (QP)

<b>CONCEPTO: RESIDENCIAS (EL Caudal de retorno debe ser de 100 m3/día)</b>				
<b>Cantidad</b>		<b>personas/vivienda</b>	<b>L/persona</b>	<b>Total Litros</b>
<b>100</b>		<b>5</b>	<b>300<sup>1</sup></b>	<b>124 500</b>
			<b>TOTAL EN LTS/DIA</b>	<b>124 500</b>
			<b>TOTAL EN GAL/DIA</b>	<b>32 937</b>
			<b>80% Retorno</b>	<b>99 600</b>
			<b>80% retorno</b>	<b>26 349</b>

1.Dotación mínima sugerida en las Normas Técnicas para Aprobación de Planos de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios

### 5.2. Caudal máximo diario (QMD)

Factor caudal máximo: 1.8

$$QMD = 100 \times 1.8 = 179 \text{ m}^3/\text{d} = 7.5 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 5.3. Caudal máximo horario (QMH)

Factor caudal horario: 2.25

$$QMH = 100 \times 2.25 = 224 \text{ m}^3/\text{d} = 9.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

## 6. CARGA CONTAMINANTE

El sistema de tratamiento propuesto está diseñado para soportar la carga contaminante descrita en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de carga contaminante entrante estimados para el proyecto

Parámetros Carga Contaminante	Entrada (Agua Cruda)
DBO <sub>5, 20</sub>	250 mg/l
DQO	500 mg/l
SST	250 mg/l
Ph	5-8
Aceites y grasas	50 mg/l

Concentración de carga orgánica en el agua de entrada:

Carga contaminante =  $(250 \times 100) \div 1000 = 24.9 \text{ kg DBO/d}$

Carga contaminante =  $(500 \times 100) \div 1000 = 49.8 \text{ kg DQO/d}$

## 7. CRITERIOS DE DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

Para los elementos de entrada se tomó como referencia el caudal máximo horario ( $224 \text{ m}^3/\text{d}$ , equivalente a  $9.3 \text{ m}^3/\text{h}$ ), el cual toma en cuenta los momentos críticos del sistema.

### 7.1. Caja de rejillas

El pretratamiento del agua residual consiste en la separación de los sólidos gruesos. El procedimiento común, es pasar el agua residual cruda a través de rejillas o tamices. En caso de sistemas para poblaciones pequeñas se pueden utilizar sistemas de limpieza manual cuyo diseño está descrito por Crites y Tchobanoglous en la página 249 del libro Tratamiento de aguas residuales en poblaciones pequeñas.

- Clasificación de las rejillas de tamizado de sólidos o cribado

Las rejillas pueden clasificarse según:

- Su limpieza:
  - Manual.
  - Mecánica.
- Su separación entre barrotes:
  - Fina: entre 0,5 y 1,5 cm de separación.
  - Media: entre 1,5 y 5,0 cm de separación.
  - Gruesa: mayor a 5,0 cm de separación.
- Su inclinación:
  - Verticales: a  $90^\circ$  respecto de la horizontal.
  - Inclinadas: entre  $60$  y  $80^\circ$  respecto de la horizontal.

El tamaño de los barrotes usados en las rejillas, dependerá del tamaño de los materiales que se pretende retener, con el fin de que sean lo suficientemente fuertes para que no se deformen. Para rejillas gruesas se usan barrotes de entre  $\frac{1}{2}$  y 1 pulgada (1,3 a 2,5 cm) de diámetro (o de ancho) y para las finas, de entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  pulgada (0,6 a 1,3 cm).

#### Rejillas de limpieza manual

Se instalan en depuradoras pequeñas y son inclinadas (usualmente a  $60^\circ$  -  $80^\circ$  respecto de la horizontal) para facilitar las labores de limpieza del operario, quien

retira los sólidos retenidos en la rejilla con ayuda de un rastrillo u otra herramienta similar dentada y los dispone temporalmente en una lámina perforada o canastilla, conocida como depósito escurridor, para eliminar el agua. Posteriormente, estos desechos se llevan a incineración o a un relleno sanitario.

### **Criterios de diseño para rejillas**

Los criterios de diseño de las rejillas se fundamentan en las velocidades de paso del flujo de aguas residuales, a través de ellas. Esta velocidad no debe ser tan baja que promueva la sedimentación de sólidos en el canal ni tan alta que genere arrastre de sólidos ya retenidos por los barrotes de la reja.

En caso de sistemas para poblaciones pequeñas se pueden utilizar sistemas de limpieza manual cuyo diseño está descrito por Crites y Tchobanoglous en la página 249 del libro Tratamiento de aguas residuales en poblaciones pequeñas.

*Tabla 2. Parámetros de diseño para rejillas de barras.*

Concepto	Limpieza manual	Limpieza mecánica
- Tamaño de la barra:		
- Anchura, ( cm )	0.6 – 1.5	0.6 – 1.5
- Profundidad ( cm )	2.5 – 7.5	2.5 – 7.5
- Separación ( cm )	2.5 – 5.0	1.6 – 7.5
- Inclinación respecto a la vertical ( ° )	30 – 45	0 – 30
- Velocidad de aproximación ( m/s )	0.3 – 0.6	0.6 – 0.9
- Pérdida de carga admisible ( cm )	15	15

Fuente: Tratamiento de aguas residuales en poblaciones pequeñas “Crites y Tchobanoglous” pagina # 249.

### **Diseño Rejillas**

Se recomienda usar rejilla de limpieza manual cuando el caudal es igual o menor a 0.05 m<sup>3</sup>/s. Si es mayor se recomiendan rejas de limpieza mecánica.

Las rejillas de limpieza manual se instalan con una inclinación de 30° a 45° con respecto a la horizontal. Las de limpieza mecánica tienen inclinaciones de 0 a 30. La separación entre las barras puede variar entre 50 a 100 mm (rejillas gruesas) o de 25 a 40 mm (rejillas finas).

Velocidad mínima 0.3 m/s y velocidad máxima 0.6m/s.

- Ancho propuesto del canal= 0.5 m
- QMH:  $(100 * 2.25) / 86400 = 0.0026 \text{ m}^3/\text{s}$
- Área libre (Qmh/v en reja obstruida) =  $0.0026 \text{ m}^3/\text{s} / 0.6 \text{ m/s} = 0.004 \text{ m}^2$

- Tirante de flujo de caudal ( $H$ ) =  $0.004 \text{ m}^2 / 0.5 \text{ m} = 0.009 \text{ m}$
- $Bg=434 \text{ mm}$
- $H= 0.009 \text{ m}$
- $Ae=(H^*Bg) = 0.004 \text{ m}^2$
- $V= (Q/Ae) = 0.690 \text{ m/s}$
- $Hf = \frac{1}{0.6} \left( \frac{V^2 - v^2}{2g} \right) = -1 \text{ cm} \quad \text{Pérdida de carga} < 15 \text{ cm} \quad \text{Ok cumple}$

Para la rejilla gruesa se dobla el espacio de separación a 50 mm. Eso hace que las pérdidas se reduzcan a la mitad.

- Ancho propuesto del canal= 0.5 m
- $QMH: (100* 2.25) / 86400 = 0.0026 \text{ m}^3/\text{s}$
- Área libre ( $Qmh/v$  en reja obstruida) =  $0.004 \text{ m}^3/\text{s} / 0.6 \text{ m/s} = 0.004 \text{ m}^2$
- Tirante de flujo de caudal ( $H$ ) =  $0.004 \text{ m}^2 / 0.5 \text{ m} = 0.009 \text{ m}$
- $Bg=467 \text{ mm}$
- $H= 0.009 \text{ m}$
- $Ae=(H^*Bg) = 0.004 \text{ m}^2$
- $V= (Q/Ae) = 0.643 \text{ m/s}$
- $Hf = \frac{1}{0.6} \left( \frac{V^2 - v^2}{2g} \right) = -0.45 \text{ cm} \quad \text{Pérdida de carga} < 15 \text{ cm} \quad \text{Ok cumple}$

Como la pérdida de carga es inferior a 15 cm en ambos casos se cumple la condición para la caja de rejas. Para la cámara de rejas se emplearan barrotes.

- Inclinación de  $45^\circ$  con respecto a la vertical.
- Espesor: 4 mm
- Separación: 25 mm y 50 mm

El espaciado entre los dos sistemas de rejillas es de 0.5 m permitiendo la limpieza sin obstaculizar la labor del operario.

Los datos de velocidades antes descritos fueron recopilados del libro “Tratamiento de aguas residuales para poblaciones pequeñas, de Crites y Tchobanoglous, 2000 en la página #249”.

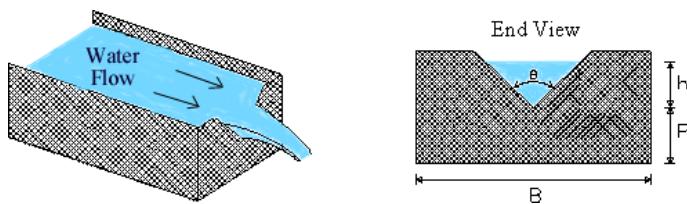
Tabla 3. RESUMEN CANAL DE ENTRADA - REJILLAS

Proceso	Requerimientos
Canal entrada	$H: 50 \text{ cm} - L: 230 \text{ cm} - W: 50 \text{ cm}$
Velocidad de entrada reja limpia	Flujo horizontal: 0.690 m/s
Velocidad de entrada reja obstruida	Flujo horizontal: 0.600m/s
Rejillas gruesas	$\emptyset: 4 - \text{Separ: } 50 \text{ mm}$

Rejillas finas	Ø: 4 - Separ: 25 mm
Barrotes:	25 mm x 4 mm

## 7.2. Dispositivos para medir caudal

Se cuenta con dos dispositivos de medición de caudal ubicados en la entrada y la salida del sistema. Los dispositivos de medición consisten en láminas metálicas que se montan sobre unas guías que se fijan a las paredes de concreto. La lectura de los vertederos se reportaran como la altura del agua sobre la ranura triangular, desde el vértice inferior hasta el nivel de agua estable aguas arriba. El caudal se calcula con las ecuaciones y tablas que se indican.



### Vertedero triangular en la cámara de entrada y salida

Un vertedero triangular centrado,

$$\theta = 90^\circ$$

Utilizando la fórmula de la ref. 9 calculamos:

$$H_w = (Q \div 1,4) \frac{1}{2,5}$$

Q: caudal en  $m^3/d$

$H_w$ : altura sobre el vértice del vertedero en metros.

Caudal (m <sup>3</sup> /d)	Altura sobre vertedero "h" (cm)	Caudal (m <sup>3</sup> /d)	Altura sobre vertedero "h" (cm)
50	4.18	500	10.50
100	5.52	550	10.91
150	6.49	600	11.29
200	7.28	650	11.66
250	7.96	700	12.01

Caudal (m <sup>3</sup> /d)	Altura sobre vertedero "h" (cm)	Caudal (m <sup>3</sup> /d)	Altura sobre vertedero "h" (cm)
300	8.56	750	12.35
350	9.10	800	12.67
400	9.60	850	12.98

Las dimensiones del canal de entrada se detallaron en la Sección 6.5 al diseñar la caja de rejas y son: H: 50 cm - L: 230 cm - W: 50 cm

Las dimensiones del canal de salida son: H: 15 cm - L: 80 cm - W: 70 cm

Por ecuación de continuidad:

$$Q = w \cdot H = 0.028 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = w \cdot H = 0.50 \cdot 0.15 = 0.075 \text{ m}^2$$

$$Q = V \cdot A$$

$$\frac{0.0026 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.075 \text{ m}^2} = 0.035 \text{ m/s}$$

La velocidad en el canal de salida corresponde a un flujo laminar.

Las dimensiones del canal permiten el uso de vertedero para medición de caudal y la toma de muestra

### 7.3. Tanque de aireación

#### Criterio de diseño

Caudal a tratar= 100 m<sup>3</sup>/día

Tiempo de retención hidráulico= 24 h<sup>1</sup>

Volumen a requerir =100 m<sup>3</sup>

Se construirán 5 sub-cámaras de aireación con medidas de:

Largo 1.88m  
Ancho 3.71m

<sup>1</sup> En lodos activados, el reactor, denominado tanque de aireación, es de volumen adecuado para proporcionar un periodo de permanencia relativamente largo, generalmente de 4.5 a 6 horas para aguas residuales domésticas (Valdez, E. & A. Vásquez, Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales, 2003, p. 166 sección 14.2.1).

Alto                    3.75m (3.30 m de nivel de espejo de agua).

### Dimensionamiento

#### Volumen útil del sistema

$$V = Largo \times ancho \times alto = 23$$

Por la cantidad de cámaras del mismo volumen:

$$V_{Total} = 23 \times 5 = 115 \text{ m}^3$$

$$V_{Total} = 115 \text{ m}^3 \geq 100 \text{ m}^3$$

Las dimensiones propuestas cumplen con el requerimiento de volumen.

Para el cálculo biológico del volumen mínimo requerido en las cámaras de aireación para un día de funcionamiento se obtiene lo siguiente:

$$V \text{ (para un día)} = \frac{Q(S_0 - S)}{SSLM \times \frac{A}{M}}$$

Donde:

$$Q = 10 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$S_0 = 250 \text{ mg/l}$$

$$S = 25 \text{ mg/l}$$

$$SSLM = \text{Sólidos suspendidos en el licor mezclado} = 3000^2 \text{ mg/l}$$

$$A/M = \text{Relación alimento microorganismos} = 0.10^3 \text{ kg DBO/ Kg SSV-día}$$

Entonces sustituyendo en la fórmula:

$$V = \frac{100 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times (250 - 25) \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{3000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 0.1} = \frac{75 \text{ m}^3}{\text{día}}$$

$$V_{Total} = 115 \text{ m}^3 \geq 75 \text{ m}^3$$

Las dimensiones propuestas cumplen con el requerimiento de volumen tanto para cálculo biológico como para cálculo de dimensiones.

<sup>2</sup> Valor mínimo sugerido para tratamiento de aguas residuales municipales por medio de Lodos Activados en Aireación Extendida Cuadro 14.1. Valdez, E. A, Vásquez. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales.

<sup>3</sup> Valor mínimo sugerido para tratamiento de aguas residuales municipales por medio de Lodos Activados en Aireación Extendida. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Cuadro 14.1. Valdez, E. A, Vásquez. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales.

## 7.4. Sedimentador secundario

### Criterio de diseño

Tomado de: Metcalf - Eddy, "Tratamiento y depuración de las aguas residuales", para el sedimentador secundario. (Fuente: Metcalf&Eddy, 2003).

Sistema	Tasa Superficial [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d]	
	Q promedio	Q peak
LAC	16 - 32	40 - 48
LAAE	8 - 16	24 - 32

$$Qpd = 100 \text{ m}^3/\text{d} - 4.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Qmh = 224 \text{ m}^3/\text{d} - 9.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

La tasa superficial vendría dada como:

$$C_s = \frac{Q}{\text{Área superficial}}$$

$$C_{s \text{ QP}} = \frac{100 \text{ m}^3/\text{d}}{(3.71 * 1.88)\text{m}^2 * 1 \text{ uds}} = 14.3 \frac{\text{m}^3}{(\text{m}^2 * \text{d})}$$

$$C_{s \text{ QMH}} = \frac{224 \text{ m}^3/\text{d}}{(3.71 * 1.88)\text{m}^2 * 1 \text{ uds}} = 32.1 \frac{\text{m}^3}{(\text{m}^2 * \text{d})}$$

OK **cumple** con los datos teóricos

Área del sedimentador:

$$A_s = \frac{Qp}{C_s} = \frac{100 \text{ m}^3 / \text{h}}{14.3 \text{ m} / \text{h}} = 6.97 \text{ m}^2$$

$$A_s = \frac{Qmh}{C_s} = \frac{224 / \text{h}}{32.13 \text{ m} / \text{h}} = 6.97 \text{ m}^2$$

Volumen del sedimentador (valor de caudal 9.34 m<sup>3</sup>/h)

$$V_s = Q_{MH} * R$$

R: Retención hidráulica entre 1 y 2.5 horas, para 1.5 h:

$$V_s = 9.34 \frac{m^3}{h} * 1.5 h = 14.01 m^3$$

### Dimensionamiento

Se propone utilizar una unidades de sedimentadores. La profundidad útil total de una unidad del sedimentador es 3.75 m, dividida en profundidad útil 2.15 m más profundidad de tolva 1.6 m. Cada sedimentador tiene dos tolvas para mejor eficiencia, cada una con su propio retorno de lodos.

Tabla 4. Dimensiones de cada cámara de sedimentación

Dimensiones	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad agua (m)	Borde libre (m)	Volumen útil tanque (m <sup>3</sup> )
Tanque sedimentador	3.75	1.88	3.3	0.45	23

$$\text{Volumen Total} = 23 \times 1 = 23 \text{ m}^3$$

$$\text{Factor de Volumen Efectivo de Sedimentación} = 0.35$$

$$\text{Volumen } 23 \text{ m}^3 * 0.35 = 8.06 \text{ m}^3$$

$$23 - 8.06 = 14.96 \text{ m}^3$$

$$14.96 \geq 14.01 \text{ m}^3 \Rightarrow \text{Ok}$$

El sedimentador propuesto cumple con el volumen teórico requerido para la sedimentación de los lodos bajo condiciones de caudal máximo.

### **7.5. Digestor de lodos y lechos de secado**

Las plantas de tratamiento diseñados por WGS (Water Group Systems) permiten una digestión completa de lodos en el tanque de aireación, por lo que la producción de lodos aparente es baja. Esto se logra mediante la manipulación de las fuentes de alimento de las bacterias.

Sólo es necesaria la purga del sistema cuando la cantidad de lodos supera el 60% de masa/volumen, que raramente se da. Por esta razón se han omitido las unidades de digestión de lodos y lechos de secado.

En dado caso de que se necesitara realizar una purga del sistema se contrata a una empresa de recolección mediante cisterna, como Cruz Verde; el cual llevaría los lodos a una planta de tratamiento de aguas residuales autorizada y dedicada para dicho fin.

Según Sperling, debido a la tecnología de aireación extendida el lodo se encuentra estabilizado y no es necesario realizar una etapa de digestión. La cantidad de lodo excedente se obtiene:

Concentración de sólidos suspendidos en lodo de recirculación: 8000mg/L

Producción líquida de sólidos totales: 1,9 KgSS/día.

Producción líquida de sólidos volátiles: 2,4 KgSSV/día.

$$\text{Producción de lodo} = Y * Q * (S_0 - S) - K_d + f_b * X_v * V$$

Donde,

Y es el coeficiente de eficiencia. 0.9

Q es el caudal que recibe el sistema por día. Equivalente a 100 m<sup>3</sup>/d.

S<sub>0</sub> es la cantidad de carga orgánica que ingresa al sistema. 250 mg/l DBO.

S es la cantidad de carga orgánica en el efluente. 25 mg/l DBO.

K<sub>d</sub> es el porcentaje de remoción de materia volátil biodegradable. 0,07d<sup>-1</sup>.

F<sub>b</sub> es la fracción biodegradable. 0.57<sup>4</sup>

X<sub>v</sub> consiste en la cantidad de sólidos en el licor mezclado. 2500mg/l.

V corresponde al volumen del tanque de aireación. 115 m<sup>3</sup> / d

Caudal de lodo excedente a remover:

$$\text{Caudal de lodo excedente} = \frac{V * X}{\theta * X_r}$$

$$\text{Caudal de lodo excedente} = \frac{V * X}{\theta * X} = \frac{115 * 2500}{30 * 10000} = 0.96$$

Donde,

V es el volumen del tanque de aireación. 115 m<sup>3</sup>/d

Θ es la edad del lodo. 30 días

X concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado. 2500mg/l.

---

<sup>4</sup> Valor recomendado para aireación extendida. (Von Sperling,2007)

$X_r$  concentración de sólidos suspendidos volátiles en la recirculación.10000 mg/l <sup>5</sup>

Q excedente: 0.96 m<sup>3</sup>/día

Dado los datos anteriores, se recomienda realizar una limpieza parcial del sedimentador cada tres meses con el fin de retirar el exceso de lodo arena y otros residuos inorgánicos que puedan afectar la interacción microbiana.

Debido al traslado de lodos se realiza en húmedo no hay generación de biosólidos en el sistema de tratamiento por lo tanto no es aplicable la Norma COPANIT-47-2000.

## **7.6. Sistema de desinfección, punto de aforo y toma de muestras**

### **7.7. Unidad de Aforo**

Se utilizará un vertedero al final del sistema de tratamiento. El canal de aforo contará con rieles para colocar la placa del vertedero la cual se podrá mover y cambiar por distintas placas dependiendo del caudal presente. Ver ilustración 2 en la sección de calidad del efluente.

### **7.8. Requerimiento de aire**

El aire requerido para un sistema de aireación extendida, contempla el aire que demandan los procesos biológicos para la degradación de la materia orgánica, más aire de mezcla para la homogeneización del licor y la recirculación de lodos que se da del sedimentador al tanque de aireación.

#### Criterio de diseño

Se utilizan valores estimados para la caracterización del influente, no obstante se utiliza un porcentaje de eficiencia de un 95% para la caracterización del efluente. Por lo que se prevé una calidad de agua tratada superior a los valores establecidos en la norma COPANIT 35-2019. Se observa en la tabla 5 la caracterización de las aguas residuales y lo esperado en el efluente

---

<sup>5</sup> Valores establecidos para aireación extendida 8000-10000mg/l (Von Sperling,2007)

Tabla 5. Caracterización de las aguas residuales y aguas tratadas estimadas del proyecto

	DBO 5,20	DQO	SST	pH	Grasas	Ssed	Temp. (° C)	Sustancias activas azul metileno (mg/l)
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(uds)	(mg/l)	(ml/l)		
Entrada	250	500	250	6.5-7.5	50	50	15	4
Eficiencia esperada	90%	95%	95%		60%	80%		80%
Salida	25	25	12.5	7	20	10	15 °C≤T≤40°C	0.8
Norma de vertido (conc. Máx. Permisible) para cuerpo receptor*	35	100	35	5 a 9	20	15	± 3°C de la Temperatura Normal del Sitio	1
Norma de vertido (conc. Máx. Permisible) alcantarillado sanitario**	300	700	300	5.5 a 9	150	20	15 °C≤T≤40°C	2

\*Norma COPANIT 35-2019

\*\*Norma COPANIT 39-2000

### Dimensionamiento

El requerimiento de oxígeno (Ro) para digestión en el tanque de aireación se basa en la relación: 1.5 Kg O<sub>2</sub> / Kg DBO<sub>5</sub> removida

Considerando los ajustes por temperatura y altitud aplicamos el siguiente criterio: 2.25 kg O<sub>2</sub>/kg DBO removida.

$$DBO \text{ a remover} = \frac{\frac{250 \text{ mg}}{l} - \frac{35 \text{ mg}}{l}}{1000} \times 100 \text{ m}^3 = \frac{21.41 \text{ k}}{d} DBO$$

$$R_o = \frac{21.41 \text{ k}}{d} DBO \times 2.25 = \frac{48.18 \text{ k}}{d} O_2$$

Se trabaja con difusores de burbuja fina con eficiencia de transferencia del 14%. Además se considera que el sistema de aireación funcionará 16 horas por día. También se considera que la densidad del aire es de 1,29 g/l, y que 4,29 kg de aire aportan 1kg de oxígeno, por lo tanto:

$$Q_{AD} = - \frac{48.18 \text{ kg } O_2 \times \left( \frac{4.29}{0.00129} \right) + 0.14}{0.14} = 114511 \text{ l/día}$$

$$Q_{AD} = 1192 \text{ l/min}$$

El flujo se distribuye en varias cámaras de aireación logrando mayor contacto celular entre la biomasa formada por la oxidación de la materia y la recirculación de los sedimentadores del lodo orgánico.

### Aire para recirculación (QR)

La recirculación de lodos y sobrenadantes se realiza por medio de “air pumps” o bombas de aire que es una eyeción neumática que requiere de aire comprimido. Consideramos que el caudal a recircular es de 1.3 veces el caudal promedio diario ( $0.0125 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y que se va a recircular con 3 tubos de 50 mm de diámetro, por lo tanto aplicamos la siguiente ecuación:

$$\log_{10} Q_R = \frac{(1.3 \times Q_{PD} - 0.0087)}{0.0029} = -2.483238$$

$$Q_R = \frac{0.003287 \text{ m}^3}{s} = 197 \text{ l/min}$$

### Aire para mezcla (QAM)

El aire para mezcla debe ser mayor o igual a  $12 \text{ m}^3/\text{min}$  por cada  $1,000 \text{ m}^3$  de los volúmenes donde se va aplicar aireación, en este caso volumen del tanque de aireación.

Aplicamos la siguiente ecuación para realizar su cálculo:

$$Q_{AM} \geq 12 \times \left( \frac{115}{1000} \right) = \frac{1.3810 \text{ m}^3}{\text{min}} = 1381 \text{ l/min}$$

### Aire Total (QT)

Se realiza la sumatoria de todos los requerimientos de oxígeno que tiene el sistema. Además se le agrega un 20% más por pérdidas en la tubería.

$$Q_T = (Q_{AD} + Q_{AM} + Q_R) \times 1.2 = 3324 \text{ l/min}$$

Se convierte la cantidad de litros a unidades scfm

$$O_T = 116.36 \text{ scfm}$$

## 8. EQUIPO

### 8.1. Difusores de aire

Utilizarán difusores de burbuja fina de tecnología patentada en forma cónica, 6 por cada cámara de aireación que trabajan en un rango de operación entre 1 y 9 m<sup>3</sup>/h. Habrá un total de 30 difusores.

Por lo tanto los difusores seleccionados cumplen con las especificaciones necesarias para suplir el requerimiento de oxígeno al tanque de aireación.

### 8.2. Diseño de difusores

Siendo el ancho del reactor de aeración igual a:

$$W = 1.88 \text{ m}$$

Y la longitud requerida de la línea de difusores del 75% de este ancho, entonces:

$$LDIF > 1.41 \text{ m}$$

En consecuencia, se utilizarán 1 distribuidor de aire en cada reactor de dimensiones de 1.88m x 3.71 m; este distribuidor con longitud efectiva de 1.40 m, con difusores cada uno marca Jet inc de 12.7 centímetros de diámetro, separados 25 centímetros, centro a centro. Es decir, 30 difusores en total.

### 8.3. Soplador de aire y motor

Se utilizará 3 sopladores marca Sutorbilt Legend modelo 3LR capaz de suministrar 120 SCFM cada uno a una presión de 5,7 psi. Por lo que se cumple con el requerimiento de 116.36 SCFM calculado.

Para activarlos se utilizará un motor Garner Denver de 7.5 HP, 3 Fases, Voltaje: 230v, 60HZ

Se adjuntan en la sección de Anexos los detalles de ambos equipos.

## 9. Calidad del efluente

Según las premisas de diseño bajo los cuales fue desarrollado el sistema de tratamiento de lodos activados, modalidad aireación extendida, se puede esperar una eficiencia en reducción de DBO en un rango de 95 a 98%

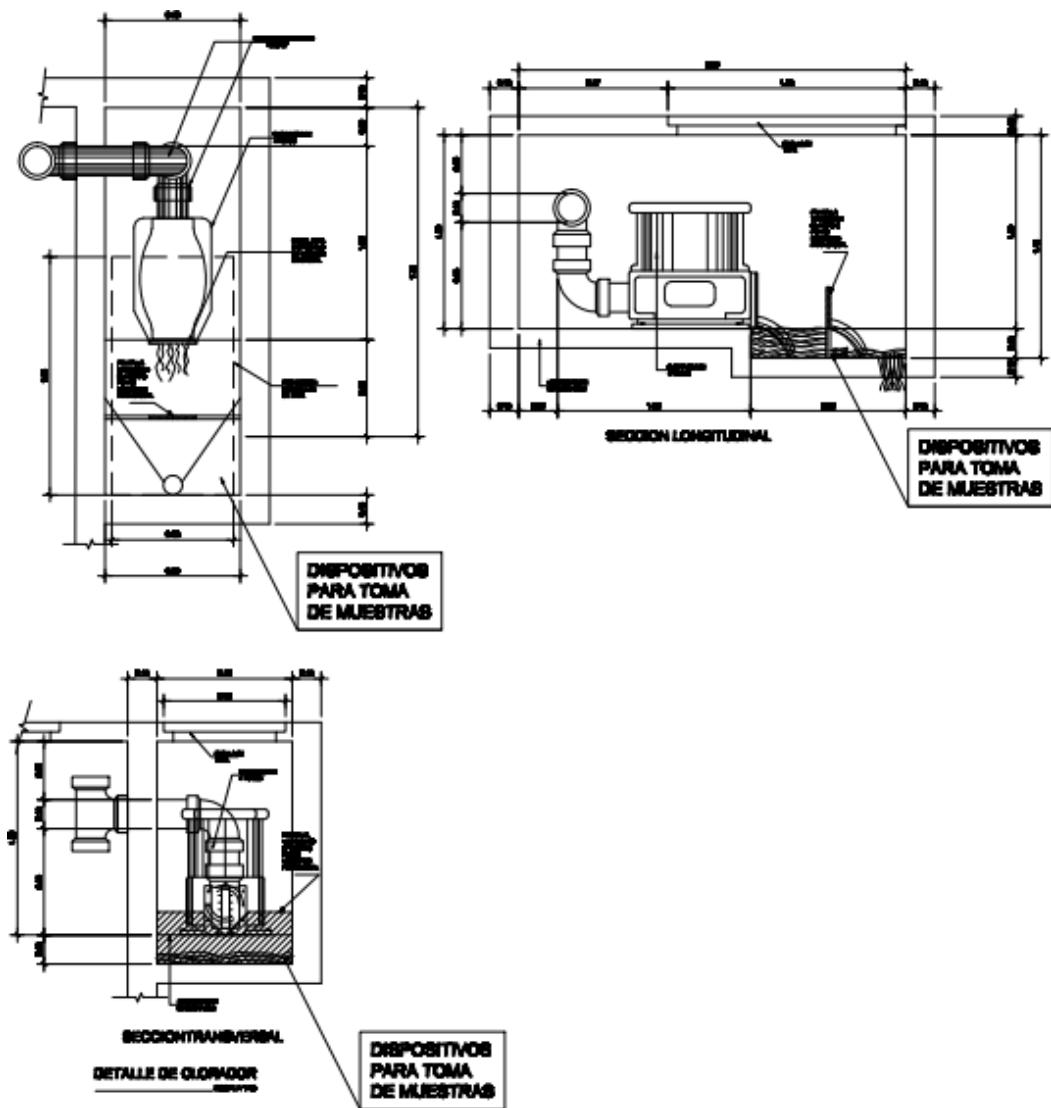
La siguiente tabla indica las eficiencias consideradas en el diseño y las concentraciones a obtener con el sistema de tratamiento aplicado. Igualmente, se comparan estos valores alcanzados con las concentraciones máximas permisibles dictadas por la Norma COPANIT 35-2019, para aguas tratadas que son descargadas en un cuerpo receptor.

Tabla 6. Caracterización de las aguas tratadas estimadas para el proyecto

	DBO 5,20	DQO	SST	pH	Grasas	Ssed	Temp. (° C)	Sustancias activas azul metileno (mg/l)	NMP/100 ml Coliformes Fecales
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)	(ml/l)		(mg/l)	
<b>Entrada</b>	500	750	250	6.5-7.5	50	10	15	4	$4 \times 10^{7**}$
<b>Eficiencia esperada</b>	95%	95%	95%		60%	80%	N.A.	80%	95-100%***
<b>Salida</b>	25	37.5	12.5	7	20	<1	15 °C≤T≤40°C	0.8	<1000
<b>Norma de vertido (conc. Máx. Permisible) Norma COPANIT 35-2019 *</b>	50	150	50	5 <sup>a</sup> 9	30	1	$\pm 3^{\circ}\text{C}$ de la Temperatura Normal del Sitio	5	1000

En el efluente del Sistema de tratamiento para garantizar el cumplimiento de los anteriores expuesto se realizará la desinfección de las aguas mediante la cloración con pastillas de hipoclorito de sodio al 70%. Se muestra en la ilustración 2, el sistema de cloración propuesto.

Ilustración 2. Sistema dosificador de cloro y unidad de aforo.



## 10. CONSUMO

El sistema de tratamiento operará con los siguientes equipos:

EQUIPOS	ESTACIÓN	Potencia HP
1 Sopladores – motores	26 K	7.5
<b>TOTAL CONSUMO</b>		<b>7.5</b>

Total de Consumo en HP= 7.5 HP

### 10.1. Consumo Kw

El consumo en Kw es igual al consumo de potencia por tiempo de trabajo.

Consumo	7.5
Tiempo	16
Factor	0,75
kW/día	90
kW/ m <sup>3</sup>	0.9

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. Mackenzie & Masten "**Ingeniería y ciencias ambientales**"; Mc Graw Hill Interamericana Editores, S.A., México, 2005.
2. Metcalf - Eddy; "**Tratamiento y depuración de las aguas residuales**"; Labor S.A.; España, 1981.
3. Chereque, W. "**Mecánica de Fluidos 1 y 2.**" Pontificia Universidad Católica de Perú. Lima, Perú. 1993
4. Crites & Tchobanoglous; "**Sistemas de Manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados**"; Mc Graw Hill Editores, Colombia, 2000.
5. Ramalho, R. S. "Tratamiento de aguas residuales"; Editorial Reverté, S.A.; Barcelona, España. 1993.
6. Procedimiento de cálculo de la American Society of Civil Engineers (ASCE) de los Estados Unidos.
7. Manual of Practice (MOP) de la Water Environmental Federation (WEF) en su última edición (WEF, MANUAL OF PRACTICE 8 4th Edition).
8. Biological Wastewater Treatment ", C.P. Leslie Grady, Glen T. Daigger, Henry C. Lin, 1999.
9. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Módulo didáctico. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD, Lozano-Rivas, W.A. (2012).
10. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. División de Ingeniería de Crane. McGraw-Hill. 1993
11. White, F. "Mecánica de Fluidos". Ed. McGraw-Hill. 1979
12. Tchobanoglous, G. F, Burton. Stensel, D. Wastewater Engineering: Treatment and reuse. Metcalf & Eddy, Inc. 4ta ed. 2003.
13. Nozaic, D. S, Freese. "Process Design Manual for Small Wastewater Works". Water Research Comission. South Africa. 2009.
14. Valdez, E. A, Vásquez. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Fundación ICA, A.C. México D.F. 2003.

Engine:

- 4-stroke, water-cooled diesel engine
- Standard air filter
- Standard fuel filter
- Standard oil filter
- Oil temperature sensor
- Low coolant level sensor
- 24V electrical system
- Radiator with blowing fan
- Industrial silence
- Fuel water separator (optional)
- Water jacket heater (optional)

Alternator:

- Class H insulation
- IP23 Protection
- Automatic Voltage Regulator (AVR)
- Single bearing alternator
- PMG excitation (optional)

Electrical system:

- 6110 control module
- Maintenance-free and anti-explosion battery
- Standard breaker
- 6120 control module (optional)
- ATS (optional)
- Battery charger (optional)
- GMS monitoring (optional)

Packing:

- Engine manual
- Alternator manual
- Gensets operation and maintenance manual
- Tool kit

Baseframe:

- Forklift pockets
- Pulling slots
- Earth wire protection
- Built-in anti vibration mountings
- Fuel outlet valve
- Standard 8 hours fuel tank
- Separated fuel tank (optional)

Canopy:

- Weatherproof & sound-attenuated canopy
- Sound-absorbing material
- Lifting lug
- Emergency stop button
- Inside silencer
- Trailer (optional)

Contact your distributor / dealer for more information

**WUXI LEES POWER COMPANY LIMITED**  
No 312 Huihwa Town Liusha Town Wuxi China 214000

