

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Prediseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Puerto

Boyacá, Boyacá

Jessica Paola Fernández Henao; Luisa Fernanda Giraldo Barahona

Trabajo de grado

Para optar para el título de Ingeniero Civil

Dirigido por:

Fabio Eduardo Díaz López

[Ingeniero Químico]

Universidad Santo Tomás

Facultad Ingeniería Civil

Bogotá DC

2021

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Resumen

En este proyecto se realiza el pre-diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de Puerto Boyacá, Boyacá, en el cual se incluye información con la que se explican las decisiones tomadas para seleccionar las metodologías de tratamiento a implementar, concluyendo así en el prediseño de una PTAR con instalaciones de cribado, sedimentador primario, reactor UASB, reactor de lodos, lagunas anaeróbicas, y cámara de desinfección, de estas fases se puede encontrar cálculos de dimensiones, eficiencias y además cumplimientos de parámetros dados por el RAS 2017 y requerimientos de vertimiento de aguas residuales domésticas presentados por la resolución 631 del 2015, necesarios para evaluar la eficiencia del diseño. **Palabras Clave:** PTAR, Reactor UASB, Agua residual doméstica, Sedimentador, Laguna anaeróbica, Desinfección, DBO, DQO, SST.

Abstract

In this project, the pre-design of a wastewater treatment plant is carried out for the municipality of Puerto Boyacá, Boyacá, which includes information that explains the decisions made to select the treatment methodologies to be implemented. Concluding thus, with the pre-design of a WWTP with screening facilities, primary settler, UASB reactor, sludge reactor, anaerobic lagoons, and disinfection chamber, of these phases you can find calculations of dimensions, efficiencies and also compliance with parameters given by the RAS 2017 and domestic wastewater discharge requirements presented by Resolution 631 of 2015, necessary to evaluate the efficiency of the design. **Key Works:** WWTP, UASB Reactor, Domestic Wastewater, Settler, Anaerobic Lagoon, Disinfection, BOD, COD, SST.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tabla de contenido

Resumen	2
Abstract	2
Tabla de contenido	3
Lista de tablas	6
Lista de ilustraciones.....	8
Lista de anexos	9
Introducción.....	10
Objetivos	11
Justificación.....	12
Estado del arte	14
Aguas residuales domésticas	14
Aguas pluviales.....	16
Tratamiento preliminar.....	17
Tratamiento primario	18
Sedimentación.....	18
Tratamiento secundario	18
Tratamiento aeróbico	19

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tratamiento anaeróbico	19
Reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)	21
Desinfección	24
Lagunas de maduración (LDM).....	24
Tanque de desinfección	24
Tratamiento de lodos residuales	25
Indicadores químicos	26
Metodología.....	27
Resultados	30
Características del agua residual del municipio	30
Análisis de la población beneficiada.....	32
Normativa.....	34
Cálculo del caudal.....	35
Tratamiento preliminar.....	36
Resumen de resultados del tratamiento preliminar:	42
Tratamiento primario	43
Resumen de resultados del tratamiento primario:.....	47
Reactor UASB	48
Resumen de resultados del tratamiento secundario	61

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Laguna Anaerobia.....	64
Resumen de resultados de la laguna anaeróbica.....	67
Desinfección.....	68
Resumen de resultados de la desinfección.....	71
Tratamiento de lodos.....	72
Resumen de resultados del tratamiento de lodos.....	78
Eficiencia esperada de la planta.....	80
Cumplimiento de la resolución 631 del 2015.....	81
Conclusiones.....	82
Recomendaciones.....	83
Notación y terminología.....	84
Referencias.....	90

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Lista de tablas

Tabla 1 Características de las aguas residuales domésticas	14
Tabla 2. Características del tratamiento anaeróbico y aeróbico.....	20
Tabla 3 Valores promedio operativos anuales - afluente a PTAR Río Frío y Reactores UASB 1 a 4	22
Tabla 4 Metodología.	27
Tabla 5 Nombre de los puntos de vertimientos analizados.....	30
Tabla 6 Caracterización Aguas residuales en el municipio de Puerto Boyacá	31
Tabla 7 Población del municipio para diferentes años (DANE).....	32
Tabla 8 Coeficiente de retorno de aguas servidas domésticas, D.3.1. RAS.....	35
Tabla 10 Información general sobre las rejillas utilizadas en el tratamiento preliminar.	38
Tabla 18 Valores de diseño de cargas volumétricas permisibles de DBO y porcentaje de remoción de DBO en estanques anaeróbicos a diversas temperaturas	66
Tabla 19 Resumen de resultados del diseño de la laguna anaeróbica.....	67
Tabla 20 Clasificación de baffles según T_{10}/T_0.	70
Tabla 22 Parámetros de diseño para el espesamiento.	73
Tabla 23 Concentración de sólidos provenientes del ARD.....	73
Tabla 24 Requerimientos de área para lechos de secado.....	75
Tabla 25 Resumen de resultados del diseño del tratamiento de lodos.	78

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tabla 26 Eficiencias de la PTAR por fases. 80

Tabla 27. Comparación de datos de la PTAR con la resolución 631 del 2015. 81

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Gráfica de crecimiento histórico poblacional.....	33
Ilustración 2 Esquema de la rejilla doble.....	40
Ilustración 3 Esquema de la rejilla.....	40
Ilustración 4 Cámara de cribado.....	42
Ilustración 5 Sedimentador primario.....	47
Ilustración 6 Diagrama de un reactor UASB.....	49
Ilustración 7 Dimensiones del diseño del reactor.....	56
Ilustración 8 Distribuidores de caudal.....	56
Ilustración 9 Relación L/W según T10/T0.....	69
Ilustración 10 Canal de desinfección.....	71

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Lista de anexos

Anexo 1. Proceso de la PTAR

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Introducción

La protección de fuentes superficiales de agua es esencial para garantizar el cumplimiento del desarrollo sostenible. Por lo tanto es importante contar con plantas de aguas residuales que eviten la contaminación de los cuerpos de aguas (Pimentel, 2020). Muchos municipios no cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales, entre estos Puerto Boyacá, debido a su crecimiento poblacional se cree pertinente el desarrollo de un prediseño de una planta de tratamiento. Este hace sus vertimientos en el Río Magdalena, que es una fuente de ingresos por medio de la pesca. Por otro lado, otras regiones aguas abajo lo utilizan como fuente de abastecimiento aumentando el costo en tratamiento de agua potable.

Este proyecto tiene como propósito realizar el prediseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Puerto Boyacá que cumpla con las especificaciones de condiciones de vertimiento dados en la norma. Esto se desarrollará por medio de la caracterización del agua residual, reconociendo el tipo de aguas residuales y saber cuál sería el mejor diseño para tratar los residuos; el estudio de caso identificando cuál será la población beneficiada, los parámetros de diseño y por último sus cálculos. La implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales puede ayudar al municipio a resolver los problemas presentados por el inadecuado vertimiento de las aguas residuales, además de aportar con el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales dado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Objetivos

Objetivo General:

Pre-diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Puerto Boyacá que cumpla con las especificaciones de condiciones de vertimiento dados en la resolución 631 del 2015, para disminuir los contaminantes depositados en el Río Magdalena por los residuos líquidos del municipio.

Objetivos Específicos:

- ❖ Calcular el tamaño de la población para el año 2050 por medio de estudios demográficos para determinar el volumen a tratar por la planta.
- ❖ Definir el tipo de tratamiento que más se adecue a las condiciones del lugar para garantizar la eficiencia y la economía de la planta en el sitio seleccionado.
- ❖ Identificar las características del agua residual doméstica del municipio.
- ❖ Establecer por medio de los cálculos correspondientes las dimensiones de cada elemento de la PTAR, de acuerdo a las recomendaciones y exigencias de la norma RAS 2017 y resolución 0631 del 2015, para asegurar el excelente funcionamiento de la PTAR.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Justificación

La calidad del agua es un factor esencial para determinar si una fuente es adecuada para el abastecimiento de agua potable de una población, por ello es importante que su calidad no disminuya al verter las aguas residuales en estas fuentes, las plantas de tratamiento de aguas residuales se consideran esenciales para esta labor, por lo tanto, cada municipio debe contar con una, además se contribuye a la protección de las fuentes superficiales.

Los problemas generados por no implementar una PTAR pueden ser varios, estos se pueden presentar dentro del municipio o pueden afectar otras poblaciones, en el caso del municipio de Puerto Boyacá algunos sectores se han visto seriamente afectados por los vertimientos de las aguas residuales al Río Magdalena, según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial estas zonas son el Muelle de Pescadores, El Chambacú, Brisas del Magdalena y otros asentamientos a las orillas del río. (Plan de ordenamiento Territorial. s. f.).

Por otro lado, el Río Magdalena al ser el río más importante del país y una fuente hídrica extensa es la primera opción para el abastecimiento de agua potable, es por ello que es necesario mantener los índices de contaminación bajos y evitar el aumento de costos de potabilización del agua de los municipios que se abastecen de este.

El pre diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales en este municipio puede ayudar a la población a invertir en la implementación de la misma, y con ello resolver los problemas presentados en el lugar, además de aportar con el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales dado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial.

Por otro lado, el desarrollo de este proyecto contribuirá al cumplimiento del objetivo 6 “Agua limpia y Saneamiento” de los objetivos de desarrollo sostenible propuestos por las

**PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ**

naciones unidas, y a la cual cada individuo con capacidades y/o profesionales debe aportar.

(Naciones Unidas, s. f.).

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Estado del arte

En las comunidades se construyen plantas de tratamiento de aguas residuales con el fin de disminuir la contaminación de los vertimientos en los cuerpos de agua; en el municipio de Puerto Boyacá, Boyacá no se realiza el tratamiento de las aguas residuales, por lo cual vierten estas aguas directamente en el río Magdalena y a los caños El Progreso y Saca Mujeres; de modo que se realizará un prediseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para determinar qué tipo de tratamiento sería la mejor propuesta, se analizará el rendimiento del tratamiento seleccionado en otros lugares, y además se examinará los beneficios que conlleva su implementación.

Aguas residuales domésticas

Para comenzar con el diseño de una planta de tratamiento es imperativo identificar los contaminantes presentes en el agua residual por medio de parámetros, en la tabla 1 se puede encontrar valores típicos de las aguas residuales domésticas:

Tabla 1 Características de las aguas residuales domésticas

<i>Parámetros (mg/l)</i>	<i>Contaminación alta mayor a:</i>	<i>Contaminación media hasta:</i>	<i>Contaminación baja hasta:</i>
<i>Sólidos totales</i>	<i>1000</i>	<i>500</i>	<i>200</i>
<i>Sólidos volátiles</i>	<i>700</i>	<i>350</i>	<i>120</i>
<i>Sólidos fijos</i>	<i>300</i>	<i>150</i>	<i>80</i>
<i>Sólidos en suspensión totales</i>	<i>500</i>	<i>300</i>	<i>100</i>

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
 PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

<i>Parámetros (mg/l)</i>	<i>Contaminación alta mayor a:</i>	<i>Contaminación media hasta:</i>	<i>Contaminación baja hasta:</i>
<i>Sólidos en suspensión volátiles</i>	400	250	70
<i>Sólidos en suspensión fijos</i>	100	50	30
<i>Sólidos disueltos totales</i>	500	200	100
<i>Sólidos disueltos volátiles</i>	300	100	50
<i>Sólidos disueltos fijos</i>	200	100	50
<i>DBO5 a 20°C</i>	300	200	100
<i>Oxígeno consumido</i>	150	75	30
<i>Oxígeno disuelto</i>	0	50	0
<i>Nitrógeno total</i>	86	50	25
<i>Nitrógeno orgánico</i>	35	20	10
<i>Amoniaco libre</i>	50	30	15
<i>Nitritos</i>	0.10	0.05	0
<i>Nitratos</i>	0.40	0.2	0.1

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

<i>Parámetros (mg/l)</i>	<i>Contaminación alta mayor a:</i>	<i>Contaminación media hasta:</i>	<i>Contaminación baja hasta:</i>
<i>Cloruros</i>	<i>175</i>	<i>100</i>	<i>50</i>
<i>Alcalinidad</i>	<i>200</i>	<i>100</i>	<i>50</i>
<i>Grasas</i>	<i>40</i>	<i>20</i>	<i>0</i>
<i>PH</i>	<i>6-9</i>	<i>6-9</i>	<i>6-9</i>

Valores comunes de parámetros de niveles de contaminación en aguas residuales domésticas. Recuperado de López del Pino Sergio Jesús, Martín Calderón Sonia, Depuración de aguas residuales, Edición: 5.1 [Impreso en España]

Comparando la información dada en la tabla 1 y la tabla 5, se puede asumir que el tipo de agua residual producida por el municipio es doméstica, ayudando esto a la selección de un tratamiento adecuado en el diseño de la planta.

Aguas pluviales

La composición de las aguas residuales recolectadas en un centro poblado, depende generalmente de las condiciones del lugar, como el suelo, si es una zona urbana o rural, la intensidad y frecuencia de la lluvia, entre muchas otras. (López del Pino, Martín, 2015)

Los contaminantes de estas aguas generalmente pueden ser:

- ❖ Hollín
- ❖ Polvo
- ❖ Restos orgánicos
- ❖ Partículas sólidas
- ❖ Basura, etc.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tratamiento preliminar

También conocido como tratamiento primario, tiene como propósito eliminar residuos sólidos grandes para evitar daños en los mecanismos de tratamiento posteriores aumentando su eficiencia, este tratamiento está generalmente compuesto por mallas o cribados, trampa de grasas y sedimentación, este último puede ser incluido en un tratamiento secundario. (Belzona, 2020).

Mallas o cribados

Este consiste en una rejilla cuya abertura dependerá de los materiales flotantes que se quiera remover, este paso será importante para evitar taponamiento de tuberías o también para proteger equipos como bombas. De acuerdo a la norma las rejillas deben cumplir con una eficiencia durante su funcionamiento, por lo cual es recomendable realizar tareas de limpieza periódicas o utilizar rejillas de limpieza mecánica.

El material recolectado en las cribas puede ser triturado y recirculado a la planta de tratamiento, o también puede ser depositado directamente en un relleno sanitario o en un incinerador.

Trampa de grasas

Debido a la mala disposición de las grasas y aceites, las aguas residuales poseen una cantidad considerable de estos lípidos, por lo tanto, es importante retirar estas sustancias antes de comenzar con el tratamiento de estas aguas. Si no se retira puede generar problemas como taponamiento de las rejillas o tuberías, puede impedir la aireación en los sistemas, entorpece la sedimentación y la digestión de los lodos, entre otros. (López del Pino, Martín, 2015)

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Para la eliminación de las mismas se aprovecha las diferencias de densidades presentadas en el agua y la grasas, por lo que el tanque en el que se genera el proceso, la entrada se encuentra a mayor altura que la salida, logrando que el agua residual siga su camino y las grasas se posen en la superficie, donde se puede implementar diferentes métodos para retirarlas. (López del Pino, Martín, 2015)

Tratamiento primario

Sedimentación

Los sedimentadores son instalaciones dentro de las plantas de tratamiento que se utilizan para separar las partículas en suspensión del agua a tratar por medio de la gravedad (Orozco, 2014, p. 328), la forma de los sedimentadores pueden ser cuadrados, rectangulares o circulares, siendo este último el más utilizado en el tratamiento de aguas residuales, los sedimentadores deben tener entradas y salidas que garanticen una distribución uniforme del agua en toda la unidad y que eviten puntos muertos dentro del tanque (Márquez, 2016).

Para el diseño del tratamiento de sedimentación se debe tener en cuenta factores como el área superficial, profundidad del sedimentador, tiempo de retención, tasa de desbordamiento superficial, y la tasa de carga del vertedero (Márquez, 2016).

Tratamiento secundario

En los tratamientos secundarios podemos encontrar dos tipos de PTAR los cuales son el Tratamiento Aeróbico y Tratamiento Anaeróbico. (Martínez Freddy, Ysase Tibusay, 2007).

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tratamiento aeróbico

Este tratamiento consiste en la descomposición de la materia por medio de un proceso biológico que utiliza el oxígeno disuelto para la actividad respiratoria de los organismos presentes, muchas veces el oxígeno en el agua no es suficiente, por lo cual se debe incrementar por métodos artificiales.

Para realizar un tratamiento aeróbico existen diferentes metodologías:

- ❖ Filtros Percoladores
- ❖ Lodos Activados
- ❖ Reactores de lechos compactos
- ❖ Digestión aerobia

(Martínez Freddy, Ysase Tibusay, 2007)

Tratamiento anaeróbico

A diferencia del tratamiento Aeróbico, este proceso se realiza en ausencia de oxígeno; ya que los organismos extraen el oxígeno de la materia orgánica y otros compuestos, durante esta transformación se produce gases que son peligrosos para el medio ambiente, por lo tanto, se debe recolectar para luego ser utilizado como fuente de energía térmica.

En el tratamiento anaeróbico se puede encontrar estos tipos de metodologías.

- ❖ Reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)
- ❖ Digestión Anaeróbica
- ❖ Lecho Expandido

(Martínez Freddy, Ysase Tibusay, 2007)

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Para este proyecto en específico se decidió utilizar un tratamiento Anaeróbico, ya que algunas características del proceso anaeróbico, en comparación con el proceso aeróbico, resulta más beneficioso para el municipio la operación y mantenimiento de la PTAR, en la tabla 2 se muestra las propiedades de cada proceso.

Tabla 2. Características del tratamiento anaeróbico y aeróbico

<i>Parámetros</i>	<i>Anaeróbico</i>	<i>Aeróbico</i>
<i>Requerimientos de energía</i>	<i>Bajos</i>	<i>Altos</i>
<i>Grado de tratamiento</i>	<i>Moderado (60 a 90%)</i>	<i>Alto (95%)</i>
<i>Producción de lodos</i>	<i>Baja</i>	<i>Alta</i>
<i>Estabilidad del proceso</i>	<i>Baja o Moderadas</i>	<i>Moderada o Alta</i>
<i>Tiempo de arranque</i>	<i>2 a 4 Meses</i>	<i>2 a 4 Semanas</i>
<i>Requerimientos de nutrientes</i>	<i>Bajos</i>	<i>Altos para ciertos desechos industriales</i>
<i>Olor</i>	<i>Problemas potenciales</i>	<i>Menores posibilidades</i>
<i>Producción de biogás</i>	<i>Si</i>	<i>No</i>
<i>Costos de inversión</i>	<i>USD \$ 30/Cápita</i>	<i>USD \$ 50/Cápita</i>
<i>Costos de operación</i>	<i>USD \$ 0.4/Cápita</i>	<i>USD \$ 0.8-1/Cápita</i>

Comparación entre los tratamientos anaerobio y aerobio. José Luis Arvizu Fernández. Tratamiento anaerobio-aerobio de las aguas residuales de las instalaciones del IIE. Tomado de: <https://www.ineel.mx/publica/bolso96/aplica.htm>

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

En base a la tabla 2 se concluyó que era más efectivo la implementación de un tratamiento anaeróbico por medio de un reactor UASB.

Reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)

Los reactores UASB proveniente de Bélgica y Holanda, es aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica, fue desarrollado en Holanda por Lettinga y sus colaboradores en los años 70. El diseño de un reactor UASB consiste en una zona de reacción en la parte inferior, en la que se acumula la biomasa, la de mejor sedimentabilidad en el fondo y encima los lodos más ligeros (Caicedo, 2006), es el encargado de la eliminación de la contaminación orgánica producida por la acumulación de sólidos suspendidos y bacterias en crecimiento, el ingreso de las aguas residuales domésticas al reactor produce un biogás ocasionado por un burbujeo. Este reactor puede reemplazar barros activados o lechos percoladores, sin descartar el uso de desarenadores o rejillas para la aprehensión de materiales gruesos. (Fernández, 2015).

Para el funcionamiento adecuado de un reactor UASB se deben tener en cuenta varias condiciones, entre éstas está la temperatura en la que trabaja el reactor, ya que afecta la actividad de los microorganismos, determina la cantidad de energía neta producida e influye en la relación pH-alcalinidad, por lo tanto se debe considerar temperaturas mayores a 15 °C (Caicedo, 2006) . En el proyecto de investigación “Diseño, construcción y arranque de un reactor UASB. Piloto para el tratamiento de lixiviados” presentado por Francisco Caicedo en la universidad Nacional de Manizales, se analizó un reactor UASB bajo temperaturas de más o menos 23 °C y se obtuvo resultados de porcentaje de remoción de un 80 %, si se compara esta información con lo dicho en la teoría y las condiciones ambientales del municipio de Puerto Boyacá, se pueden esperar resultados positivos.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Por otro lado, si observamos el buen desempeño del reactor UASB en la PTAR del municipio de Río Frío en el Valle del Cauca (Salazar et al, 2018), el cual tiene características ambientales y del agua residual similares al municipio de Puerto Boyacá, puede justificar la decisión de usar este tipo de tratamiento secundario; el rendimiento del reactor en Río Frío puede ser probados por los valores mostrados en la tabla 3

Tabla 3 Valores promedio operativos anuales - afluente a PTAR Río Frío y Reactores UASB 1 a 4

Parámetro	Unidad	Afluente PTAR	UASB					Promedio UASB
			1	2	3	4N	4S	
Caudal	m ³ /mes	1.230.167	342,3	310,2	310,2	133,7	133,7	
	L/s	475	132	120	120	52	52	
DQO	mg/L	766	367	356	327	396	395	
	Eficiencia (%)		52	53	57	48	48	52
DBO5	mg/L	374	128	119	111	138	137	
	Eficiencia (%)		66	68	71	63	64	66
DQO/DBO5		2.0	2,9	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9
SS	mg/L	328	134	129	106	142	142	

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad</i>	<i>Afluente PTAR</i>	<i>UASB</i>					<i>Promedio UASB</i>
			<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4N</i>	<i>4S</i>	
	<i>Eficiencia (%)</i>		59	61	67	57	57	60
<i>Temperatura</i>	°C	26	26	26	26	26	26	26
<i>pH</i>		7,7	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
<i>Nitrógeno total</i>	mg/L	62,5	62,6	64,0	58,0	63,8	63,3	62,4
<i>Fósforo</i>	mg/L	10,2	10,1	10,5	9,7	10,3	10,3	10,2
<i>AGV/Alcalini dad</i>		0,24	0,22	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22
<i>Lodo</i>	m ³ /mes		418	498	506	125	157	334
<i>Biogás</i>	m ³ /mes		41.2 00	33.95 4	44.99 5	24.93 3	DNR	37.541
<i>Actividad metano génica</i>	g DQO/g ssv-d		0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12

Analysis of the efficiency of UASB reactors in a municipal wastewater treatment plant, Luis Salazar Larrota, Ludwing Uribe García, Luisa Gómez Torres y Carlos Zafra Mejía, (2018), Universidad nacional de Colombia, Sede Medellín facultad de Minas, Tomado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v86n209/0012-7353-dyna-86-209-319.pdf>

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Desinfección

En muchas ocasiones, los tratamientos secundarios no son suficientes para cumplir con los requerimientos de la norma, por lo tanto, se es considerado necesario y el post-tratamiento. En el caso de este proyecto se implementará lagunas de maduración. (Fernández, 2015)

Lagunas de maduración (LDM)

Este tipo de lagunas es muy utilizado como post-tratamiento para reactores UASB, en estas lagunas se estabilizan los componentes disueltos en esta, además de que garantiza mejor calidad de las descargas en los cuerpos de agua. Las LDM requieren costos bajos de operación y de mantenimiento, pero requieren espacios grandes para su instalación. (Fernández, 2015)

Tanque de desinfección

Desinfectar el agua significa eliminar de ella microorganismos capaces de producir enfermedades. El proceso de desinfección puede realizarse por medio de agentes físicos como el calor, los rayos UV y la radiación solar, y agentes químicos como el ozono, el Permanganato de Potasio, Cobre y Plata y Halógenos; estos agentes físicos se caracterizan por reducir la cantidad de microorganismos patógenos por alteración de su fisiología ocasionándoles la muerte. (Reyes, 2016)

El agua que va a ser sometida al proceso de desinfección, puede contener precursores orgánicos, fundamentalmente ácidos húmicos y fúlvicos, estos precursores reaccionan con el desinfectante, causando la aparición de una serie de compuestos orgánicos clorados, que pueden ser tóxicos para el hombre. (Reyes, 2016)

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tratamiento de lodos residuales

En algunos lugares no se toma en cuenta el tratamiento los lodos producidos por la plantas de tratamiento de aguas residuales y son depositados en sistemas de alcantarillado, cuerpos de agua, o en tiraderos a cielo abierto sin ningún tipo de tratamiento previo, generando así problemas de salud pública, contaminación de subsuelo y/o acuíferos, y sin mencionar la atracción de plagas como ratas, insectos, entre otros. Debido a su alto grado de contaminación los lodos residuales son considerados residuos sólidos peligrosos y por esta misma razón las entidades ambientales exigen que estos residuos sean tratados, no solo para evitar los problemas ya mencionados sino también para lograr obtener beneficio de estos lodos tratados, ya que con estos se puede transformar en compostaje, utilizarse como energía renovable, y ser reutilizables. (Oropeza, 2006, p. 6)

Para el tratamiento de lodos se pueden encontrar 4 opciones que son:

- ❖ Digestión anaerobia: Comprende dos fases, en la primera se forman ácidos volátiles y en la segunda las bacterias anaerobias producen gas metano a partir de dichos ácidos, todo esto en ausencia de oxígeno molecular (O_2).
- ❖ Digestión aerobia: Proceso de aireación prolongada (dotando al sistema de O_2) para provocar el desarrollo de microorganismos aerobios hasta sobrepasar el periodo de síntesis de las células y llevar a cabo su propia auto-oxidación, reduciendo así el material celular.
- ❖ Tratamiento químico: Realiza principalmente una acción bactericida, llevando al bloqueo temporal de fermentaciones ácidas. Por su reducido costo y alcalinidad, la cal es el reactivo que más se utiliza.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

- ❖ Incineración: Conduce a la combustión de materias orgánicas de los lodos, y es el proceso con el que se consigue un producto residual de menor masa, las cenizas constituidas únicamente por materias minerales del lodo.

(Oropeza, 2006, p. 7)

Indicadores químicos

Para realizar vertimientos de aguas residuales a cuerpos de aguas, la norma exige cumplir con ciertos parámetros, estos se conocen como indicadores químicos y permiten conocer el grado de contaminación del agua. (López del Pino, Martín, 2015) Estos pueden ser:

- ❖ DBO (mg O_2 /L).
- ❖ DQO (mg O_2 /L).
- ❖ Conductividad(S/cm (micro siemens por centímetro))
- ❖ Dureza (mg/L de $CaCO_3$).
- ❖ Aceites y grasas
- ❖ pH
- ❖ Fosfatos: (mg/L).
- ❖ Sólidos suspendidos (mg/L).
- ❖ Turbidez (NTU (unidades nefelométricas de turbidez)).
- ❖ Nitratos (NO_3^-) (mg/L).
- ❖ Nitritos (NO_2^-) (mg/L).
- ❖ Amoniacó (mg/L)
- ❖ Biodegradabilidad

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Metodología

En la tabla 4, se describen los pasos para llevar a cabo el proyecto y posteriormente se hace el DESARROLLO METODOLÓGICO o actividades a desarrollar para lograr cada objetivo planteado, en el siguiente formato:

Tabla 4 Metodología.

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Identificar los contaminantes de las aguas residuales del municipio.	Caracterización del agua residuales	Reconocer el tipo de aguas residuales que se va a tratar es lo primordial en cualquier diseño de plantas de tratamiento, la precisión de los datos debe ser bastante alta, ya que con esta información se tomará la decisión sobre cuál sería el mejor diseño para tratar estos residuos.	Jessica Fernández, Luisa Giraldo.
Analizar la población beneficiada.	Estudio del caso	Analizar la población, Clima, Temperatura, la cobertura del acueducto y alcantarillado, y la demanda de agua potable. Con estos datos es posible estimar los datos necesarios para adaptar las	Jessica Fernández, Luisa Giraldo.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
 PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
<p>Analizar la normativa y factores externos del lugar donde se realizará la planta de tratamiento.</p>	<p>Parámetro de diseño</p>	<p>metodologías de tratamiento de aguas residuales al lugar en concreto (Fernández, 2015). Y nos determinará el tamaño de la planta.</p> <p>En este estudio se puede decir que los datos más importantes para dimensionar el reactor en el caudal generado y la concentración con la que llega a la planta de tratamiento, también es esencial tener los parámetros ambientales que puedan intervenir en el funcionamiento del reactor.</p>	<p>Jessica Fernández, Luisa Giraldo.</p>
<p>Realizar cálculos pertinentes para justificar medidas y decisiones sobre el proyecto.</p>	<p>Cálculos de diseño</p>	<p>Antes de comenzar con el diseño es aconsejable adoptar recomendaciones que sugieren algunos autores para facilitar los cálculos, es evidente que para asignar dimensiones en al reactor se debe comenzar cuantificando el</p>	<p>Jessica Fernández, Luisa Giraldo.</p>

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
 PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Analizar y comparar el diseño con lo especificado en la norma.	Análisis de eficiencia del diseño	<p>volumen de agua a tratar; el proceso de diseño puede variar de acuerdo a qué autor se tome como guía y también de que cambios específicos se deben realizar para adaptar el proyecto. (Fernández, 2015)</p> <p>El diseño realizado deberá cumplir con requerimientos de calidad en el vertimiento especificados en la norma (Resolución 0631 del 2015), estos parámetros de calidad serán determinados por medio de análisis de ensayos de laboratorio.</p>	Jessica Fernández, Luisa Giraldo.

Fuente: Elaboración propia

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Resultados

Para comenzar con el desarrollo de la metodología se inició con la identificación de las características del agua residual del municipio tomándose como base una tesis que muestra un análisis de los vertimientos generado en la zona urbana de Puerto Boyacá.

Características del agua residual del municipio

Para el diseño de la planta de tratamiento de agua residual es necesario conocer datos del agua, siendo los básicos: la temperatura, pH, DQO, DBO, SST, y Caudal; los 5 primeros serán tomados de la tesis “Análisis de los vertimientos en el área urbana del municipio de Puerto Boyacá (Boyacá) al río Magdalena y otras fuentes hídricas” realizado por Magda Buenaventura y María Tamayo (Buenaventura & Tamayo 2010), en este documento se realizaron estudios de diferentes puntos de vertimientos efectuados por el municipio en el río Magdalena, estos datos son mostrados en las tablas 5 y 6:

Tabla 5 Nombre de los puntos de vertimientos analizados

Punto 1	Punto de muestreo: agua superficial aguas abajo de la confluencia del caño El progreso al Saca Mujeres.
Punto 2	Punto de muestreo vertimiento a cuerpo de agua desechos domésticos aguas abajo del vertimiento del sistema de bombeo (Puente sobre la vía panamericana)
Punto 3	Punto de muestreo vertimiento a cuerpo de agua desechos domésticos Estación de Bombeo Prado Nuevas Brisas.
Punto 4	Punto de muestreo vertimiento a cuerpo de agua desechos domésticos punto No 1 Pueblo Nuevo.
Punto 5	Punto de muestreo: Aguas superficiales aguas abajo del vertimiento de bombeo
Punto 6	Punto de muestreo: Aguas superficiales aguas arriba de la confluencia del caño El Progreso al Saca Mujeres.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Punto 7	Punto de muestreo: aguas superficiales punto No 13 barrio Guayacales.
Punto 8	Punto de muestreo a cuerpo de agua desechos domésticos punto No 12 barrio Guadales.
Punto 9	Punto de muestreo vertimiento a cuerpo de agua desechos domésticos punto No 9 barrio 7 de Agosto.
Punto 10	Punto de muestreo vertimiento a cuerpo de agua desechos domésticos punto No 8 barrio Zapata
Punto 11	Punto de muestreo vertimiento a cuerpo de agua desechos domésticos punto No 4 barrio Chambacú

Buenaventura, M., Tamayo, M. (2010). ANÁLISIS DE LOS VERTIMIENTOS EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ (BOYACÁ) AL RÍO MAGDALENA Y OTRAS FUENTES HÍDRICAS. UNIVERSIDAD LIBRE.

Tabla 6 Caracterización Aguas residuales en el municipio de Puerto Boyacá

<i>No</i>	<i>DBO₅ (mg/L)</i>	<i>DQO (mg/L)</i>	<i>pH (und)</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
<i>Punto 1</i>	<i>102</i>	<i>215</i>	<i>7</i>	<i>28</i>
<i>Punto 2</i>	<i>166</i>	<i>334</i>	<i>6,6</i>	<i>28,9</i>
<i>Punto 3</i>	<i>208</i>	<i>443</i>	<i>6,7</i>	<i>29,2</i>
<i>Punto 4</i>	<i>161</i>	<i>343</i>	<i>6,9</i>	<i>29,4</i>
<i>Punto 5</i>	<i>193</i>	<i>411</i>	<i>6,9</i>	<i>25,6</i>
<i>Punto 6</i>	<i>126</i>	<i>265</i>	<i>6,8</i>	<i>25,5</i>
<i>Punto 7</i>	<i>137</i>	<i>292</i>	<i>6,7</i>	<i>29,4</i>
<i>Punto 8</i>	<i>162</i>	<i>344</i>	<i>6,8</i>	<i>29,2</i>
<i>Punto 9</i>	<i>166</i>	<i>353</i>	<i>6,6</i>	<i>28,6</i>

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

No	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	pH (und)	Temperatura (°C)
Punto 10	106	225	6,8	29,2
Punto 11	466	991	6,8	28,7

Buenaventura, M., Tamayo, M. (2010). ANÁLISIS DE LOS VERTIMIENTOS EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ (BOYACÁ) AL RÍO MAGDALENA Y OTRAS FUENTES HÍDRICAS. UNIVERSIDAD LIBRE.

Análisis de la población beneficiada.

El diseño de la PTAR será realizado para la población futura dada en el 2050, y de acuerdo a ello se tomará el caudal a trabajar de la planta, para la determinación del dato de población se utilizó una proyección lineal implementando datos del DANE de los años 1993 y 2018, (DANE, s.f.) los valores de población se encuentran en la tabla 7.

Ecuación lineal de proyección de población.

$$P = P_2 + \left(\frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1}\right) \times (t - t_1)$$

Se seleccionó este método debido a que como se ve en la ilustración 1 la tendencia lineal es la que más se ajusta a los datos de población presentados en la tabla 7.

Datos:

Tabla 7 Población del municipio para diferentes años (DANE).

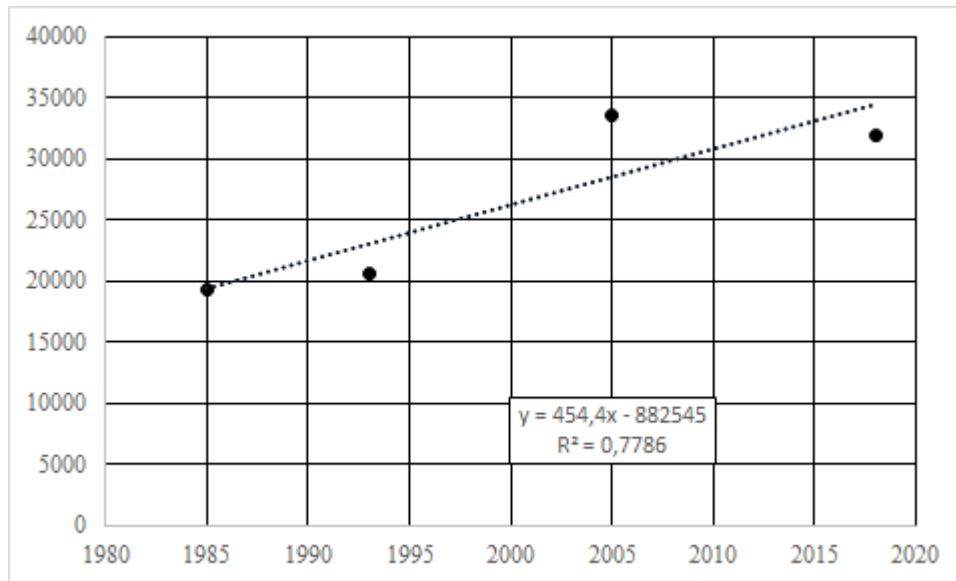
Año	Población (hab)
1985	19290
1993	20667

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Año	Población (hab)
2005	33504
2018	31991

DANE. (1985, 1993, 2005, 2018). Censo Nacional de Población y Vivienda. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

Ilustración 1 Gráfica de crecimiento histórico poblacional



Fuente: elaboración propia.

$$P_{2050} = P_{2018} + \frac{P_{2018} - P_{1993}}{t_{2018} - t_{1993}} (t_{2050} - t_{2018})$$

$$P_{2050} = 31991 \text{ hab} + \frac{31991 \text{ hab} - 20667 \text{ hab}}{2018 - 1993} (2050 - 2018)$$

$$P_{2050} = 46486 \text{ hab}$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Normativa

La normativa aplicada en Colombia para estructuras de aguas residuales es el RAS 2017, en este encontramos ciertos parámetros que se deben cumplir dentro del diseño, los artículos que fueron tomados en cuenta fueron:

Art 166: Caudal de diseño.

Art 183: Distancias mínimas para localización de sistemas de tratamiento de aguas residuales centralizados.

Art 184: Eficiencias de los procesos de tratamiento. Art 186: Requisitos mínimos de diseño para rejillas.

Art 189: Requisitos mínimos de diseño para sedimentadores primarios.

Art 191: Requisitos mínimos para diseño de reactores UASB.

Art 198. Requisitos mínimos de diseño para lagunas de estabilización anaerobias.

Art 207. Caracterización de lodos y biosólidos.

Art 208. Caracterización de gas.

Art 212. Aprovechamiento de subproductos.

Art 218. Mantenimiento de lagunas de oxidación o estabilización.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Cálculo del caudal.

La fórmula que generalmente se utiliza para calcular el caudal generado por el acueducto de un poblado se expresa así:

$$Q_{md} = \frac{CR \times C \times P_{2050}}{86400}$$

(López Cualla. R, 1995)

Siendo:

Q_{md} , Caudal medio diario en L/s

CR, Coeficiente de retorno

C, Consumo en L/hab/día

P, Población proyectada

De la fórmula se posee ya el dato de la población, la cual fue calculada anteriormente dando un resultado de 46.486 habitantes; el coeficiente de retorno se tomó de acuerdo a lo expresado en la tabla 8.

Tabla 8 Coeficiente de retorno de aguas servidas domésticas, D.3.1. RAS.

Nivel de complejidad del sistema	Coeficiente de retorno
Bajo y medio	0,7-0,8
Medio alto y alto	0,8-0,85

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017, Junio). RESOLUCIÓN NÚMERO 0330. República de Colombia.

Debido a que el nivel de complejidad se consideró entre bajo y medio se seleccionó el promedio de ambos valores, siendo CR= 0,75.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Por último, para estimar el consumo promedio de un habitante se recurrió al ART 43 del RAS, el cual recomienda un consumo de 140 L/Hab .Día para zonas que tenga una altura sobre nivel del mar menores a 1000 m.s.n.m (altura de Puerto Boyacá = 143 m.s.n.m)

Con esto se reemplaza en la fórmula del caudal promedio obteniendo:

$$Q_{md} = \frac{0,75 \times 140 \times 46.486}{86400} = 56,49 \text{ L/día.}$$

Para calcular los caudales máximos horarios, diarios y mensuales, al no contar con datos históricos se recurrió al RAS para seleccionar los factores de mayoración correspondientes, los resultados de los caudales se pueden ver en la tabla 9:

Tabla 9 Caudales máximos de acuerdo a factores de mayoración del RAS.

Caudal	Factor de mayoración	Q (L/s)
Máximo Horario	3,36	189,86
Máximo Diario	2,48	139,93
Máximo Mensual	1,58	89,47

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017, Junio). RESOLUCIÓN NÚMERO 0330. República de Colombia. Elaboración propia

Nota: Los factores de mayoración se interpolan de la tabla 23 del RAS para el valor del caudal medio.

Tratamiento preliminar

El cribado es la primera operación que se utiliza en una planta de tratamiento de aguas residuales. El propósito de las pantallas es eliminar objetos grandes que pueden dañar el equipo, bloquear válvulas, boquillas, canales, tuberías y accesorios. Se clasifican

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

ampliamente en pantallas gruesas, pantallas finas y micro pantallas. Las pantallas gruesas eliminan los objetos grandes sólo para el tratamiento preliminar, mientras que las pantallas finas eliminan las partículas pequeñas para el tratamiento preliminar o primario.

Las pantallas gruesas, también llamadas rejillas, eliminan objetos grandes como trapos, papel, plásticos, latas, ramas de árboles y similares. El elemento de apantallamientos puede consistir en barras paralelas o varillas. Las aberturas pueden ser de forma circular, rectangular o cuadrada, los tamaños de las aberturas suelen variar de acuerdo a la normativa correspondiente. También se encuentran disponibles pantallas gruesas con tamaños de abertura más grandes de hasta 40-100 mm, se utilizan principalmente en las estructuras de entrada de las instalaciones de suministro de agua o de generación de energía. Estas pantallas se limpian manualmente o mecánicamente, las cribas gruesas limpiadas manualmente se utilizan en pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales, normalmente estanterías de barras paralelas inclinadas. (Syed R. Qasim, Guang Zhu).

Diseño e instalación de rejillas

El diseño de rejillas implica la ubicación, la cámara de la pantalla y la disposición de la pantalla, la velocidad y la pérdida de carga y el sistema de control.

La tabla 10. Muestra la información sobre las rejillas de limpieza manual y mecánica utilizadas en el diseño del tratamiento preliminar

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tabla 90 Información general sobre las rejillas utilizadas en el tratamiento preliminar.

Tipos de rejillas	Rango	Descripción
Rejillas de limpieza manual	Tamaño de abertura: 25-75 mm Ancho del canal: 1-1.5 m Profundidad del canal: 1-1.2 m Ángulo de inclinación: 45-60°	Las barras paralelas se utilizan ampliamente en canales pequeños en plantas de tratamiento de aguas residuales pequeñas. La longitud de las barras está restringida a 3 m (10 pies) para facilitar el rastrillado manual.
Rejillas de limpieza mecánica	Tamaño de abertura: 6-50 mm	Las rejillas de limpieza mecánica se limpian de forma continua o intermitente mediante un dispositivo de limpieza. Los dos tipos básicos de métodos de limpieza son rastrillado y otros dispositivos de auto limpieza.

Qasim, S., & Zhu, G. (2018). Wastewater treatment and reuse (2.a ed., Vol. 1). CP&Y, Inc. Tabla 7.2

La cámara de cribado está diseñada para evitar la acumulación de arena y otros materiales pesados. Es un canal rectangular que tiene una pendiente horizontal. La longitud deseable del canal de aguas arriba suele ser de 2 a 4 veces el ancho del canal. El intervalo ideal de velocidad de aproximación en el canal aguas arriba suele ser de 0,4 a 0,45 m/s para evitar la deposición de sólidos y evitar fuertes turbulencias en el canal. La velocidad a través de la pantalla no debe exceder 0,6 y 0,9 m/s en el flujo promedio. La pérdida de carga permitida a través de las rejillas de barras obstruidas es de 150 mm. La pérdida máxima de carga de diseño puede variar de 250 a 600 mm. (Syed R. Qasim, Guang Zhu).

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

La tabla 11. Muestra el intervalo en el que se deben tomar los factores para proceder con el diseño.

Tabla 11 Factores de diseño básicos para limpieza manual y mecánica de pantallas

Factor de diseño	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Velocidad a través de la pantalla (m/s)	0.3–0.6 m/s	0.6–1.0 m/s
Tamaño de la barra		
Ancho, mm	4-8 mm	8-10 mm
Profundidad mm	25-50 mm	50-75 mm
Espacio libre entre barras mm	25–75 mm	6–75 mm

Qasim, S., & Zhu, G. (2018). Wastewater treatment and reuse (2.a ed., Vol. 1). CP&Y, Inc. Tabla 7.3

En base a la información proporcionada en la tabla 10 y 11 se seleccionó los datos iniciales para dar comienzo al diseño de la rejilla. Los valores se muestran en la tabla 12.

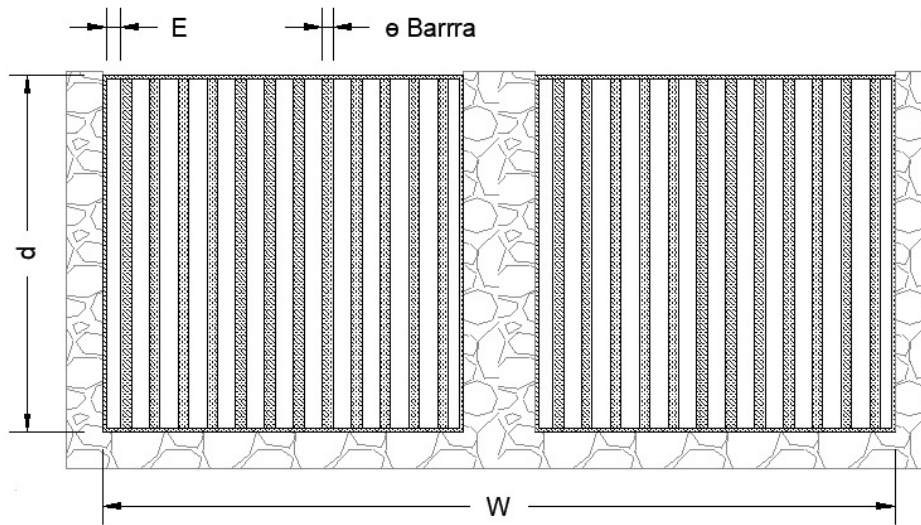
Tabla 12 Datos iniciales para el diseño de la rejilla.

$Q_{DR} (m^3 /s)$	0,095
d (m)	1
#barras	10
E (m)	0,025
$\ominus_{Barra} (m)$	0,008

Fuente: Elaboración propia

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

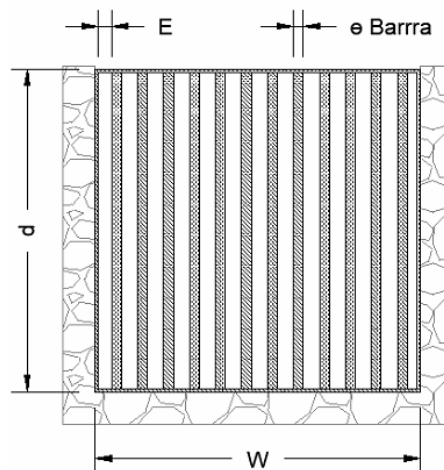
Ilustración 2 Esquema de la rejilla doble



Fuente: Elaboración propia

El diseño de la rejilla se realiza con el caudal máximo horario, el cual es de $0,189 \text{ m}^3/\text{s}$, ya que en el ART 186 del RAS exige una rejilla mecánica para caudales mayores a 100 L/s se propuso un canal doble para diseñar dos rejillas que traten con la mitad del caudal como se ve en la ilustración 2, y así evitar una rejilla mecánica que es más costosa.

Ilustración 3 Esquema de la rejilla



Fuente: Elaboración propia

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tomando como guía la ilustración 3 se inicia calculando el ancho del canal W de la siguiente manera:

$$W = \#Barras * \ominus Barra + ((\#Barras + 1) * E)$$

$$W = 10 \text{ und} * 0,008 \text{ m} + ((10 \text{ und} + 1) * 0,025 \text{ m}) = 0,36 \text{ m}$$

Multiplicando este valor por la profundidad del canal (d) se puede calcular el área total del mismo, obteniendo un área de $0,36 \text{ m}^2$, por otro lado un dato necesario para determinar las pérdidas en el canal es el área total del espaciado entre las barras, para ello se utiliza la siguiente formula:

$$A_{esp} = (\#Barras + 1) * E * d$$

$$A_{esp} = (10 \text{ und} + 1) * 0,025 \text{ m} * 1 \text{ m} = 0,28 \text{ m}^2$$

Estos valores de áreas permitirán conocer la velocidad de acercamiento (V_a) y velocidad entre las barras (V_b), debido a que el caudal es un valor inicial solo es necesario despejar las velocidades de la ecuación de continuidad, quedando:

$$V_a = 0,27 \text{ m/s}$$

$$V_b = 0,35 \text{ m/s}$$

Se debe recordar que estas velocidades deben estar entre 0,3 y 0,6 m/s.

En suma a esto se debe verificar que las pérdidas a través de la rejilla no superen 15 cm, tanto en la rejilla limpia como con obstrucciones, para ello se toma un coeficiente C_d de 0,7 para rejillas limpias y 0,6 para rejillas obstruidas; calculando las pérdidas se obtiene:

❖ Rejillas limpias:

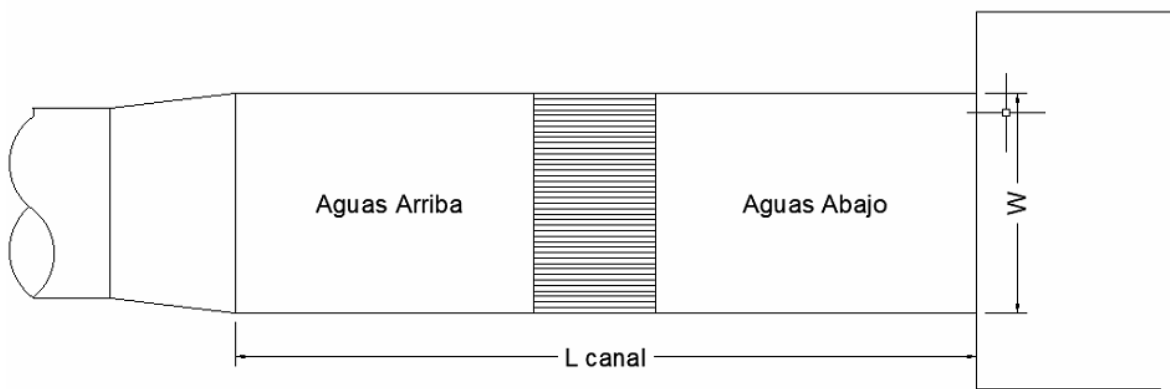
PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

$$H_f = \frac{(0,35 \text{ m/s})^2 - (0,27 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,7} = 0,0035 \text{ m} = 0,3 \text{ cm}$$

❖ Rejillas obstruidas:

$$H_f = \frac{(0,35 \text{ m/s})^2 - (0,27 \text{ m/s})^2}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,6} = 0,004 \text{ m} = 0,4 \text{ cm}$$

Ilustración 4 Cámara de cribado



Fuente: Elaboración propia

Para determinar la longitud del canal (Ilustración 4) se asumirá que la longitud aguas arriba será 4 veces el ancho del canal, siendo esta de 1,42 m, y lo mismo aguas abajo, dando como resultado un total de 2,84 m de largo.

Resumen de resultados del tratamiento preliminar:

En la tabla 13 se pueden observar los valores obtenidos en el diseño del tratamiento preliminar.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tabla 13 Resumen de resultados del diseño del tratamiento preliminar.

<i>Dato</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
Q_{DR}	m^3/s	0,095
d	m	1,0
$\#barras$	und	10
E	m	0,025
Θ_{barra}	m	0,008
W	m	0,355
A_{total}	m^2	0,355
A_{esp}	m^2	0,275
V_a	m/s	0,267
V_b	m/s	0,345
H_f	m	0,0035
	m	0,0040

Fuente: Elaboración propia

Tratamiento primario

Los criterios de diseño y rendimiento para los Sedimentadores primarios son:

- ❖ Tasa de desbordamiento superficial
- ❖ Tiempo de detención

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

❖ Tasa de carga del vertedero

Tasa de desbordamiento superficial: Este valor está dado por el coeficiente del caudal sobre el área de la superficie del tanque, un sedimentador con poca profundidad de agua tienden a tener un área más grande, por lo tanto una TDS bajo, sin embargo un valor de área alto puede verse afectado por factores como el viento, el cual puede interferir con el rendimiento del sedimentador, es por esta razón que en el RAS se encuentra una restricción de altura de cuenca, la recomendación está dada para profundidades de 2,5 a 4 m, y así mismo también da una recomendación del valor de TDS la cual es de 30 a 50 $m^3/m^2.día$ para caudales medios, y 80 a 120 $m^3/m^2.día$ para caudales picos. (Davis, 1976)

Tiempo de retención: Para que el proceso de sedimentación se realice correctamente es necesario dar el tiempo suficiente para que las partículas se precipiten en el fondo del tanque, basado en este valor de tiempo se determina con qué periodicidad se debe extraer los lodos, el tiempo de retención recomendado por el RAS se encuentra entre 1,5 a 2,5 horas. (Davis, 1976)

Tasa de carga de vertedero: Este factor tiene poco efecto en la eficiencia de remoción para cuencas con profundidades mayores a 3,6 m, dado que en este diseño la profundidad será de 3,5 m, entonces se tendrán en cuenta lo dado en la tabla 14:

Tabla 14 Valores de tasa de carga de vertedero por caudal.

Caudal	Tasa de carga del vertedero
44 L/s	<20000 gpd/ft
>44 L/s	<30000 gpd/ft

Davis, M. (1976). Water and wastewater engineering (7.a ed.). Chang, R. Chemistry.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Como datos iniciales para comenzar con el diseño del sedimentador se seleccionaron de acuerdo a lo anterior explicado quedando de esta manera:

$$Q_{DS} = 95 \text{ L/s}$$

De acuerdo a la norma el sedimentador se diseña con el caudal máximo horario que corresponde a 198 L/s, volumen necesario para implementar 2 sedimentadores, además el segundo sedimentador será diseñado a futuro, razón por la cual se dividirá el caudal en 2.

$$TDS = 40 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$$

Y por último la profundidad promedio del agua lateral y el ancho del lavado de efluentes:

$$SWD = 3,5 \text{ m}$$

$$b = 0,61 \text{ m}$$

Como primer paso se debe hallar el diámetro de la cuenca, la cual no se puede calcular sin saber el área superficial requerida para el proceso:

$$A' = \frac{Q_{DS}}{TDS}$$

$$A' = \frac{95 \frac{\text{L}}{\text{s}} * \left(86400 \frac{\text{s}}{\text{día}}\right)}{\left(\frac{1000 \text{lt}}{\text{m}^3}\right) 40 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \cdot \text{día}} = 205,07 \text{ m}^2$$

Con el área superficial requerida calculada se puede proceder a estimar el diámetro despejando D de la ecuación del círculo, obteniéndose un valor de 16,16 m, sin embargo este dato debe redondearse al máximo más cercano, es decir que el diámetro será de 17 m.

Posteriormente se calcula el volumen real del reactor con la siguiente fórmula:

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

$$V_{SED} = \frac{4}{\pi} \times D^2 \times SWD$$

$$V_{SED} = \frac{4}{\pi} * (17 \text{ m})^2 * 3,5 \text{ m} = 794,43 \text{ m}^3$$

Con este valor y el caudal de diseño, y sabiéndose que caudal es igual a volumen sobre tiempo, se puede determinar el tiempo de detención (θ), dando así un θ igual a 2,3 h; observándose que este valor de tiempo de detención está dentro del rango establecido por el RAS para municipios.

Luego se calcula el diámetro de la placa del vertedero de efluentes para un ancho de lavado de efluentes b , el cual fue asignado de 0,6 m:

$$D_{plato} = D - (2 \times b)$$

$$D_{plato} = 17 \text{ m} - (2 * 0,6 \text{ m}) = 15,78 \text{ m}$$

Y con esto se calcula la longitud total de la placa de vertedero de efluentes:

$$L_{plato} = \pi * D_{plato}$$

$$L_{plato} = \pi * 15,78 \text{ m} = 49,58 \text{ m}$$

Por último se estima la carga del vertedero de la siguiente manera:

$$Carga \text{ Vertedero} = \frac{Q_d}{L_{plato}}$$

$$Carga \text{ Vertedero} = \frac{95 \text{ L/s} * (86400 \text{ s/día}) / (1000 \text{ L/m}^3)}{49,58 \text{ m}} = 165,56 \text{ m}^3 / \text{m. día}$$

$$\approx 13334,33 \text{ GPD/ft}$$

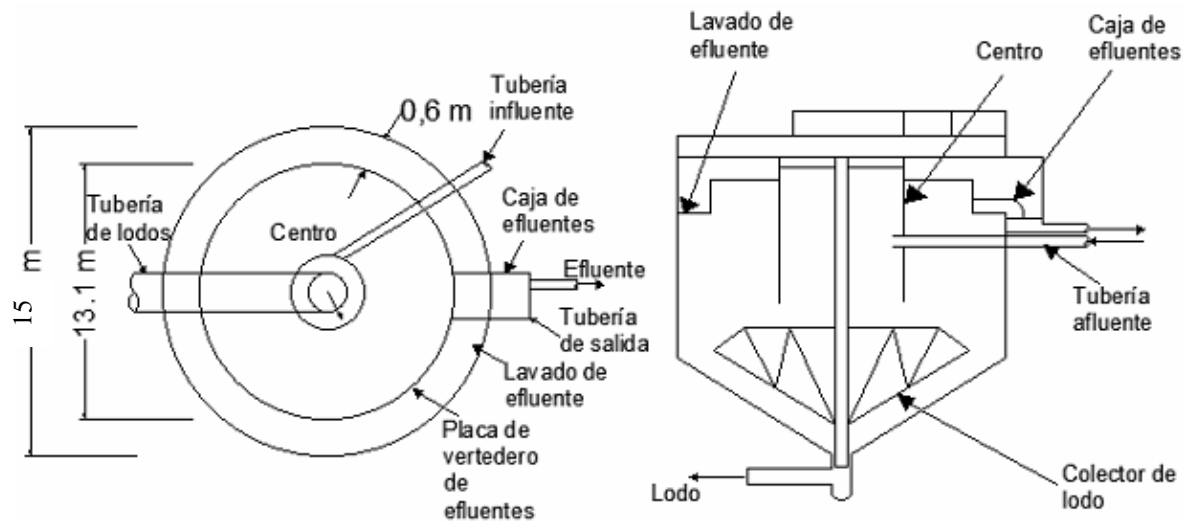
PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Este valor se verifica con lo mostrado en la tabla 14, dado que el caudal medio de la planta es de 56,49 L/s la carga de vertedero no debe ser mayor a 30000 GPD/ft, por lo tanto cumple.

Por otro lado la norma RAS da un criterio de diseño para los barre lodos del sedimentador, el cual especifica que para plantas con caudales mayores a 6 L/s el barre lodos tendrá una pendiente del 5%.

En la ilustración 6 se puede ver un esquema del diseño del sedimentador primario

Ilustración 5 Sedimentador primario



Fuente: Davis, M. (1976). Water and wastewater engineering (7.a ed.). Chang, R. Chemistry.

Resumen de resultados del tratamiento primario:

En la tabla 15 se pueden ver los valores obtenidos en el diseño del sedimentador primario.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tabla 15 Resumen de resultados del diseño del tratamiento primario.

<i>Dato</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
Q_{DS}	<i>L/s</i>	75
<i>TDS</i>	$m^3/m^2 \cdot día$	40
<i>SWD</i>	<i>m</i>	3,5
<i>B</i>	<i>m</i>	0,61
<i>A'</i>	m^2	205,2
<i>D</i>	<i>m</i>	17
V_{SED}	m^3	794,43
θ	<i>horas</i>	2,3
D_{plato}	<i>m</i>	15,78
L_{plato}	<i>m</i>	49,57
<i>Carga vertedero</i>	$m^3/m \cdot día$	165,56

Fuente: Elaboración Propia

Reactor UASB

Para diseñar un reactor UASB se puede tomar en cuenta dos criterios, primer factor es la carga orgánica volumétrica, siendo está dirigida para las aguas residuales industriales y de alta carga. El segundo factor es para aguas residuales domésticas y de baja carga, debido a que el diseño de la planta es para un municipio que produce casi en su totalidad agua residual doméstica, se eligió un diseño con criterio de carga hidráulica volumétrica.

Para comenzar se deben establecer datos iniciales que determinarán las características de las aguas residuales, estos datos son:

Población: 46486 habitantes

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Producción de Agua residual: 105 L/per/día

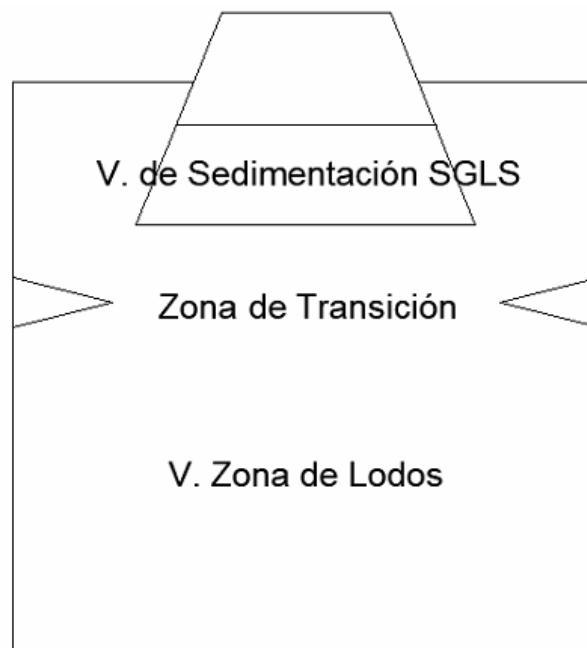
DQO Afluente: $383,27 \text{ mg/L} = 0,38327 \text{ kg/m}^3$

DBO Afluente: $181,181 \text{ mg/L} = 0,18118 \text{ kg/m}^3$

Temperatura: 29°C

En el interior del reactor hay diferentes subunidades que se deben calcular por separado como se puede ver en la ilustración 7.

Ilustración 6 Diagrama de un reactor UASB



Fuente: Elaboración propia

Para dar inicio al diseño se comenzó con la zona de expansión de lodos, para esto se debe seleccionar un tiempo de retención hidráulica, en la norma RAS encontramos unas recomendaciones de TRH dependiendo de la temperatura, en la tabla 31 del artículo 191 del RAS dice que para temperaturas mayores a 26°C el TRH debe ser mayor a 6 horas, para este

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

cálculo de diseño se escogió de 8 horas, también es necesario el caudal de diseño y así conseguir obtener el volumen total necesario en el reactor:

$$Q_{diseño} = \#personas * Producción AR$$

$$Q_{diseño} = \frac{46486 \text{ hab} * 105 \text{ L/hab/día}}{1000} = 4881,03 \text{ m}^3/\text{día}$$

Con el caudal determinamos el volumen total de la zona de lodos:

$$V_{total} = TRH * Q_{diseño}$$

$$V_{total} = 0,3333 \text{ día} * 4881,03 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 1627,01 \text{ m}^3$$

Posteriormente se determina el número de unidades de reactores necesarios, teniendo en cuenta que no deben ser menos de 2 reactores y que el volumen máximo para cada reactor debe ser de 1000 m^3 , considerando el volumen total obtenido se seleccionó 2 reactores, teniendo esto se puede calcular el volumen por unidad:

$$V_{unidad} = V_{total}/\#reactores$$

$$V_{unidad} = 1627,01 \text{ m}^3 / 2 \text{ und} = 813,505 \text{ m}^3$$

Por otro lado, para desarrollar el diseño es conveniente definir la carga orgánica volumétrica, ya que este será el factor utilizado para determinar los cálculos del reactor:

$$COV = \frac{Q_{diseño} * DQO_{afuente}}{V_{total}}$$

$$COV = \frac{4881,03 \text{ m}^3/\text{día} * 0,3833 \text{ kg/m}^3}{1627,01 \text{ m}^3} = 1,15 \text{ kg DQO/m}^3 \cdot \text{día}$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Este resultado debe estar por debajo de $15 \text{ kg DQO}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$, por lo tanto para este diseño no supone un problema el valor de la carga orgánica volumétrica.

De igual manera que con el volumen, es necesario calcular el valor del caudal de diseño para cada reactor, que como se mencionó anteriormente son 2 unidades:

$$Q_{und} = \frac{Q_{diseño}}{2}$$

$$Q_{und} = \frac{4881,03 \text{ m}^3/\text{día}}{2} = 2440,515 \text{ m}^3/\text{día} = 101,69 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Debido a que hay horas específicas en el día en que la producción de agua residual es mayor se debe multiplicar el caudal por un factor de mayoración K_2 el cual se encuentra entre 1,8 y 2, este valor es conocido como caudal pico, sabiendo esto:

$$Q_{pico} = Q_{und} * K_2$$

$$Q_{pico} = 2440,515 \text{ m}^3/\text{día} * 2 = 4881,03 \text{ m}^3/\text{día} = 203,38 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Posteriormente procedemos a asignar una altura de lodos en el sedimentador, o también denominada zona de digestión, esta altura es recomendada entre 3 y 6 m, para este caso se tomó de 4,5 m, ya teniendo esto y el volumen del reactor se puede determinar el área del reactor:

$$A_{reactor} = \frac{V_{und}}{\text{Altura de lodos}}$$

$$A_{reactor} = \frac{813,5 \text{ m}^3}{4,5 \text{ m}} = 180,78 \text{ m}^2$$

Con esto se puede dar dimensiones de ancho y largo a la base del reactor, suponiendo que es una base cuadrada queda:

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

$$H = L = \sqrt{A_{reactor}}$$

$$H = L = \sqrt{180,78 \text{ m}^2} = 13,44 \text{ m}$$

Debido a que en esta zona se realiza una sedimentación se debe cuidar de que la velocidad ascensional del agua no perturbe esta acción, para ello el RAS recomienda un rango de velocidades ascendentes, para Q_m debe estar entre 0,5 y 0,7 m/hora (ver tabla 32 del RAS), calculando la velocidad se observa que:

$$V_{asc} = Q_{und}/A_{reactor}$$

$$V_{asc} = \frac{101,69 \text{ m}^3/\text{hora}}{180,78 \text{ m}^2} = 0,56 \text{ m/h}$$

Este procedimiento debe realizarse también con el caudal pico revisando que la velocidad sea menor a 1,5 m/hora (Ver tabla 32 del RAS):

$$V_{asc \text{ pico}} = \frac{Q_{pico}}{A_{reactor}}$$

$$V_{asc \text{ pico}} = \frac{203,38 \text{ m}^3/\text{hora}}{180,78 \text{ m}^2} = 1,13 \text{ m/hora}$$

Además se debe verificar que el TRH para este caudal no sea menor a 4 horas:

$$TRH_{pico} = \frac{V_{und}}{Q_{pico}}$$

$$TRH_{pico} = \frac{813,51 \text{ m}^3}{203,38 \text{ m}^3/\text{hora}} = 4 \text{ horas}$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Hasta este punto concluye los cálculos para la zona de digestión de lodos, después, se inicia con los cálculos del separador trifásico o zona de separación de sólidos (SGLS), para ello se debe asignar una altura que se encuentre entre 1,5 y 2 m, la altura seleccionada fue de 2 m, luego se determina la velocidad en las aberturas del separador para caudal medio, lo recomendable es dar un valor entre 2 y 2,3 m/h (de Lemos Chernicharo, 2007), con esto es posible obtener el área de las aberturas:

$$A_{aberturas} = \frac{Q_{und}}{V_{aberturas}}$$
$$A_{aberturas} = \frac{101,69 \text{ m}^3/\text{hora}}{2,3 \text{ m/hora}} = 44,21 \text{ m}^2$$

También es importante verificar que la velocidad a través de las aberturas para el caudal pico no sea mayor a 5,5 m/h:

$$V_{aberturas \text{ pico}} = \frac{Q_{pico}}{A_{aberturas}}$$
$$V_{aberturas \text{ pico}} = \frac{203,38 \text{ m}^3/\text{hora}}{44,21 \text{ m}^2} = 4,6 \text{ m/h}$$

Luego se procede a determinar las dimensiones del separador y en cuantos se van a dividir, para comenzar el largo del separador será de la misma magnitud que el largo del reactor ($L=13,44 \text{ m}$), al multiplicar por el ancho nos dará el área por separador, y esta área dividirá el área total necesaria para las aberturas que se calculó anteriormente ($A_{aberturas}$), entonces el ancho se supondrá teniendo en cuenta que el número de separadores sea lo más cercano a un entero, en resumen sería:

$$L_{sep} = 13,44 \text{ m}$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

$$H_{sep} = x \text{ m}$$

$$A_{aber-und} = L * H$$

$$\#separadores = \frac{A_{aberturas}}{A_{aber-und}}$$

Para cumplir con estas condiciones se determinó un ancho de 0,69, obteniendo:

$$A_{aber-und} = 13,44 \text{ m} * 0,69 \text{ m} = 9,27 \text{ m}^2$$

$$\#separadores = \frac{44,21 \text{ m}^2}{9,27 \text{ m}^2} = 5 \text{ und}$$

Ya terminando el diseño de los separadores trifásicos se puede seguir con el diseño de la zona de sedimentación, para comenzar se asigna un TRH entre 1,5 y 2 horas de (Lemos Chernicharo, 2007, p.101; 114), para el cálculo se seleccionó de 2 h, esto permite determinar el volumen de sedimentación:

$$V_{sedimentación} = Q_{und} * TRH_{zs}$$

$$V_{sedimentación} = 101,69 \text{ m}^3/\text{hora} * 2 \text{ horas} = 203,38 \text{ m}^3$$

También se debe calcular el área disponible para la sedimentación, para ello se toma los valores de áreas por reactor y área de total de los separadores que fueron determinados anteriormente:

$$A_{disponible} = A_{und} - A_{separadores}$$

$$A_{disponible} = 180,78 \text{ m}^2 - 44,21 \text{ m}^2 = 136,57 \text{ m}^2$$

Utilizando este dato es posible conocer la altura mínima necesaria para la sedimentación, la altura no debe superar el valor asignado en la zona de separación de sólidos (Altura =2 m):

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

$$A_{min\ sedimentación} = \frac{V_{sedimentación}}{A_{disponible}}$$

$$A_{min\ sedimentación} = \frac{203,38\ m^3}{136,57\ m^2} = 1,49\ m$$

A continuación se verifica que la velocidad en esta zona se encuentre entre 0,6 a 08 m/h para el caudal medio:

$$V_{Qm} = \frac{Q_m}{A_{disponible}}$$

$$V_{Qm} = \frac{101,69\ m^3/hora}{136,57\ m^2} = 0,74\ m/hora$$

De igual manera se debe comprobar los valore de TRH y velocidad para condiciones de caudal pico, en este caso el TRH debe ser mayor a 0,6 horas y la velocidad menor a 1,6 m/h:

$$TRH_{Qpico} = \frac{V_{sedimentación}}{Q_{pico}}$$

$$TRH_{Qpico} = \frac{203,38\ m^3}{203,38\ m^3/hora} = 1\ hora$$

El TRH es mayor a 0,6, por lo tanto cumple.

$$V_{Qpico} = \frac{Q_{pico}}{A_{disponible}}$$

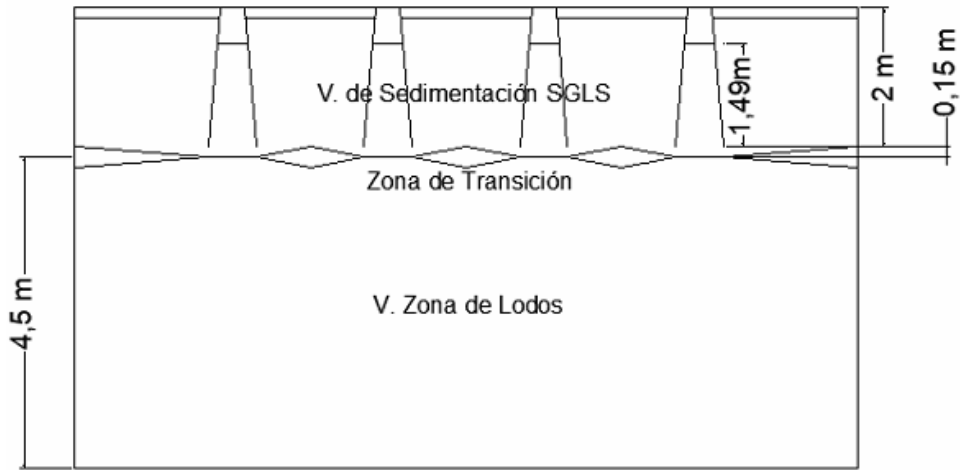
$$V_{Qpico} = \frac{203,38\ m^3/hora}{136,57\ m^2} = 1,49\ m/hora$$

La velocidad es menor a 1,6 m/h así que cumple para condiciones de caudal pico.

En la ilustración 8 se puede ver un esquema de las dimensiones del reactor.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

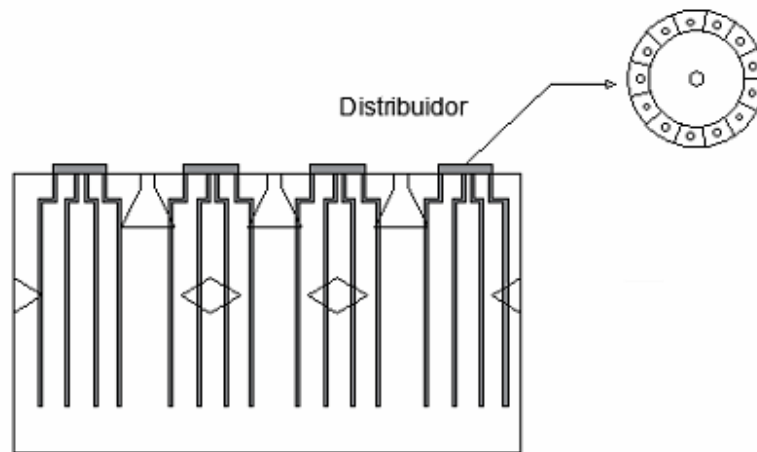
Ilustración 7 Dimensiones del diseño del reactor



Fuente: Elaboración propia

Con esto se termina de calcular todas las zonas del reactor, por lo cual ya se puede seguir con el diseño de la distribución del afluente, ya que este debe repartirse en igual proporción dentro del reactor, estos son tubos que llevan el agua residual al fondo del reactor para que inicie su tratamiento (Ver ilustración 9).

Ilustración 8 Distribuidores de caudal



Fuente: Elaboración propia

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

El área de estos tubos está definida en el RAS, en la tabla 33 del RAS se puede escoger el área de acuerdo al tipo de lodo producido y la COV calculada al inicio del diseño del reactor ($COV = 1,15 \text{ Kg DQO}/\text{m}^3 \cdot \text{día}$), al ser agua residual doméstica el tipo de lodo será denso floculento, sabiendo esto el área deberá estar entre 1 y 2 m^2 , y así con el área del reactor se podrá determinar el número de boquillas necesarias:

$$\#Boquillas = \frac{A_{reactor}}{A_{distribuidor}}$$

$$\#Boquillas = \frac{180,78 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2} = 90,39 \text{ und} = 90 \text{ und}$$

Para determinar la cantidad de caudal suministrado por cada boquilla se implementa la siguiente fórmula:

$$Q_{Boquilla} = \frac{Q_{und}}{\#Boquillas}$$

$$Q_{boquilla} = \frac{2440,52 \text{ m}^3/\text{día}}{90 \text{ und}} = 27,12 \text{ m}^3/\text{día} = 0,00031 \text{ m}^3/\text{s}$$

En el diámetro de las boquillas es recomendable tener 70 o 100 mm para evitar obstrucciones, sin embargo para favorecer la velocidad se tomó de 50 mm en todas las boquillas; por otro lado esta velocidad no debe superar los 0.2 m/s, así que para comprobar este factor se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{Boquillas} = \frac{Q_{Boquillas}}{(\pi \times D^2)/4}$$

$$V_{Boquillas} = \frac{27,12 \text{ m}^3/\text{día}}{(\pi \times 0,050 \text{ m})/4} = 0,16 \text{ m/s}$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

El diseño de las boquillas es la última parte del cálculo de las zonas físicas del reactor, sin embargo debe considerarse la estimación de la eficiencia de DBO y DQO, así como también la producción de metano y biogás del reactor.

En el caso de las eficiencias se recurrirá a las siguientes ecuaciones experimentales (Lemos Chernicharo, 2007):

❖ Para la DBO:

$$E_{DBO} = 100 * (1 - 0,7 \times t^{-0,5})$$

$$E_{DBO} = 100 * (1 - 0,7 \times (8)^{-0,5}) = 75\%$$

Si la eficiencia de remoción de DBO es 75%, a cantidad de DBO en el efluente sería:

$$C_{efl\ DBO} = DBO_{afluente} \times (1 - \frac{E_{DBO}}{100})$$

$$C_{efl\ DBO} = 0,181\ Kg/m^3 \times (1 - \frac{75}{100}) = 0,0448\ kg/m^3 = 44,84\ mg/L$$

❖ Para DQO:

$$E_{DQO} = 100 * (1 - 0,68 \times t^{-0,35})$$

$$E_{DQO} = 100 \times (1 - 0,68 * (8)^{-0,35}) = 67\%$$

Si la eficiencia de remoción de DQO es 67%, la cantidad de DQO en el efluente sería:

$$C_{efl\ DQO} = DQO * (1 - \frac{E_{DQO}}{100})$$

$$C_{efl\ DBO} = 0,383\ Kg/m^3 * (1 - \frac{67}{100}) = 0,1259\ kg/m^3$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Para comenzar con la generación de metano y biogás en el reactor, hay que determinar una producción teórica de metano, para ello se asumirá la constante Y_{obs} como 0,21 kg DQO lodo/kg DQO app:

$$DQO_{CH_4} = Q_{diseño} * [(S_o - C_{efl DQO}) - Y_{obs} * S_o]$$

$$\begin{aligned} DQO_{CH_4} &= 4881,03 \text{ m}^3/\text{día} \times [(0,383 \text{ kg}/\text{m}^3 - 0,1259 \text{ Kg}/\text{m}^3) - 0,21 \times 0,383 \text{ kg}/\text{m}^3] \\ &= 864 \text{ kg}/\text{día} \end{aligned}$$

Para pasar esto a una producción volumétrica de metano, es necesario calcular el factor $k(t)$, el cual necesita los siguientes datos:

- ❖ Presión atmosférica, Puerto Boyacá al ser un municipio que se encuentra a una altitud baja la presión es de 0,984 Atm. (Tiempo en Puerto Boyacá - RP5, 2021)
- ❖ La DQO correspondiente a una mol de CH₄, la cual es de 64 g DQO/mol
- ❖ La constante de gas R de 0,00008206 atm. m³/mol k.
- ❖ La temperatura de operación del reactor (29°C)

Teniendo esto es posible reemplazar en la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} K(t) &= \frac{P_{atm} \times K_{DQO}}{R \times (273 + T)} \\ K(t) &= \frac{0,984 \text{ Atm} \times 64 \text{ g} \frac{DQO}{\text{mol}}}{0,00008206 \text{ atm} \frac{\text{m}^3}{\text{mol k}} * (273 + 29)} = 2541,82 \text{ Kg DQO}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Ahora se puede determinar el flujo volumétrico de metano:

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)}$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

$$Q_{CH_4} = \frac{864 \text{ kg DQO/día}}{2541,82 \text{ kg DQO/ m}^3} = 0,340 \text{ m}^3/\text{día}$$

Ahora para sacar la cantidad de biogás generado, se asume que el 70% del gas producido es metano, siendo así:

$$Q_g = \frac{Q_{CH_4}}{0,7}$$

$$Q_g = \frac{0,340 \text{ m}^3/\text{día}}{0,7} = 0,485 \text{ m}^3/\text{día} = 0,0202 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por otro lado se debe diseñar un colector que direcciona y almacene el gas fuera del reactor, para ello se asume un colector por reactor, cada uno con una longitud igual a la del tanque ($L_{colector} = 13,4 \text{ m}$), y el ancho (A_g) se toma de 0,25 m como un parámetro de criterio de diseño; teniendo un área total de colector de:

$$L_{t \text{ de colector}} = \#colectores \times L_{colector}$$

$$L_{t \text{ de colector}} = 2 \times 13,4 \text{ m} = 26,9 \text{ m}$$

$$A_{tg} = L_{t \text{ de colector}} * A_g$$

$$A_{tg} = 26,9 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} = 6,7 \text{ m}^2$$

Por último se estima la tasa de liberación de biogás en el colector de gas:

$$K_g = \frac{Q_g}{A_{tg}}$$

$$K_g = \frac{0,0202 \text{ m}^3/\text{hora}}{6,7 \text{ m}^2} = 0,00301 \text{ m}^3/\text{hora}$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Es importante resaltar que el biogás producido en la planta puede ser utilizado para generar energía dentro de la misma, o también ser recolectado para su combustión o transporte.

Resumen de resultados del tratamiento secundario

En la tabla 16 se pueden ver los valores obtenidos en el diseño del reactor UASB.

Tabla 16 Resumen de resultados del diseño del tratamiento secundario.

<i>Dato</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
<i>Producción AR</i>	<i>L/per/día</i>	<i>105</i>
<i>Q_{diseño}</i>	<i>m³/día</i>	<i>4881,03</i>
<i>DQO Afluente</i>	<i>kg/m³</i>	<i>0,383</i>
<i>DBO Afluente</i>	<i>kg/m³</i>	<i>0,181</i>
<i>Temperatura</i>	<i>°C</i>	<i>29</i>
<i>Zona de expansión de lodos</i>		
<i>TRH</i>	<i>horas</i>	<i>8</i>
<i>V_{total}</i>	<i>m³</i>	<i>1627,01</i>
<i># unidades UASB</i>	<i>und</i>	<i>2</i>
<i>V_{unidad}</i>	<i>m³</i>	<i>813,5</i>
<i>COV</i>	<i>kg DQO/m³.día</i>	<i>1,15</i>
<i>Q_{und}</i>	<i>m³/día</i>	<i>2440,52</i>
<i>K2</i>	<i>-</i>	<i>2</i>
<i>Q_{pico}</i>	<i>m³/día</i>	<i>4881,03</i>
<i>Altura manto de lodos</i>	<i>m</i>	<i>4,5</i>
<i>A_{reactor}</i>	<i>m²</i>	<i>180,78</i>
<i>H</i>	<i>m</i>	<i>13,4</i>

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

<i>Dato</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
L	m	13,4
V_{asc}	$m/hora$	0,56
TRH_{pico}	$hora$	4
$V_{asc\ pico}$	$m/hora$	1,125
<i>Zona de separación de lodos</i>		
<i>Altura zona separación</i>	m	2
$V_{abertura}$	$m/hora$	2,3
$A_{aberturas}$	m^2	44,21
$V_{abertura\ pico}$	$m/hora$	4,6
H_{sep}	m	0,69
L_{sep}	m	13,4
$A_{aber-und}$	m^2	9,27
$\# separadores$	und	5,0
<i>Zona de sedimentación</i>		
TRH_{ZS}	$horas$	2
$V_{sedimentación}$	m^3	203,38
$A_{disponible}$	m^2	136,57
$A_{min\ sedimentación}$	m	1,49
V_{Qm}	$m/hora$	0,745
TRH_{Qpico}	$horas$	1,0
V_{Qpico}	$m/hora$	1,49
<i>Altura efectiva reactor</i>	m	6,65
<i>Distribución del afluente</i>		
$A_{boquillas}$	m^2	2,0

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

<i>Dato</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
# Boquillas	<i>und</i>	90
$Q_{Boquillas}$	$m^3/día$	27,11
$D_{Boquillas}$	<i>m</i>	0,05
$V_{Boquillas}$	<i>m/s</i>	0,160
<i>Eficiencia de remoción</i>		
E_{DBO}	%	75
E_{DQO}	%	67
$C_{efl DBO}$	$kg DBO/m^3$	0,045
$C_{efl DQO}$	$kg DQO/m^3$	0,126
<i>Producción teórica de metano</i>		
DQO_{CH_4}	$kg DQO/día$	864
$K(t)$	$kg DQO/m^3$	2542
Q_{CH_4}	$m^3/día$	0,339
<i>Producción de biogás</i>		
Q_g	$m^3/día$	0,485
L_t de colector	<i>m</i>	26,9
A_g	<i>m</i>	0,25
A_{tg}	m^2	6,7
K_g	<i>m/hora</i>	0,000301

Fuente: Elaboración Propia

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Laguna Anaerobia

Se realizó un diseño para la laguna anaerobia, basándose en los parámetros proporcionados del artículo Guidelines for the Hydraulic Design of Waste Stabilisation Ponds, Shilton and Harrison, 2003 Massey University (Shilton & Harrison, 2003).

El diseño de la entrada es importante para iniciar con el diseño de la laguna, la posición y el tipo de entrada tiene un impacto significativo en la eficiencia del tratamiento en las lagunas. Investigaciones han asegurado que el fluido se mueve directamente desde la entrada a la salida, sin embargo, se descubrió que las entradas horizontales pueden hacer que el contenido de la laguna circule en celdas grandes a velocidades mucho más rápidas que si el flujo se moviera desde la entrada a la salida en forma de flujo de pistón. (El concepto “flujo de pistón” asume que no hay mezcla ni difusión a medida que las aguas residuales se mueven a través de la laguna.) (Shilton & Harrison, 2003)

Un problema común en las lagunas es que el afluente gira con bastante velocidad desde la entrada hasta la salida ubicada en el extremo opuesto de la laguna, si se desea controlar el patrón de flujo en el estanque para optimizar la hidráulica, se usa una entrada que fomente este efecto. (Shilton and Harrison, 2003)

Si una entrada horizontal causa problemas de cortocircuito, lo que reduce la eficiencia y causa que el agua tome un camino más corto, un método económico para evitarlo es cambiarlo a descargue vertical, instalando un codo vertical en una tubería horizontal existente, mostrando buenos resultados; pero al usarla solas, las entradas verticales tienen un rendimiento variable y es posible que no siempre ofrezcan una mejora con respecto a una entrada horizontal. (Shilton and Harrison, 2003)

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

La entrada vertical con deflectores cortos colocados en cualquiera de las paredes adyacentes para bloquear la circulación alrededor de los bordes, la adición de los deflectores hace que el rendimiento de la entrada vertical sea más eficaz y confiable que en las pruebas que utilizan solo entradas verticales. La posición de la entrada tiene una gran influencia en el patrón de flujo, se debe considerar el efecto de la posición de entrada junto con la posición de la salida y la forma y deflectores de la laguna. (Shilton and Harrison, 2003)

La profundidad de salida según el manual de diseño de Mara y Pearson (1998) recomienda una profundidad de 300 mm para lagunas anaeróbicas, la salida debe ser lo suficiente profunda para evitar la formación de costas en la superficie.

La aplicación de deflectores es mucho más amplia que simplemente para proteger la salida; existen numerosas formas de construir los deflectores como parte del diseño original, se suele utilizar un bloque de hormigón o una pared de tierra, es importante asegurarse de que esté bien sellado y no gotee efluentes de un lado a otro para evitar cortocircuitos. Los deflectores largos y uniformemente espaciados mejoran la eficiencia del estanque.

Los deflectores de 70% de ancho proporcionan un rendimiento superior en comparación con los anchos de deflector de 50% y 90% y se recomienda un mínimo de dos deflectores. (Shilton and Harrison, 2003).

Se realizó un diseño de laguna de 2,5 m de profundidad, dato establecido según la norma RAS 2017 y un caudal de 56,49 L/s, con 4 deflectores.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se hizo el diseño de la laguna anaerobia de la siguiente forma:

Los datos iniciales que se encuentran en la tabla 17:

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tabla 17. Datos iniciales para el diseño de laguna anaerobia

Q (m ³ /día)	4881,03
DBO ₅ (mg/L)	44,84
Temperatura (°C)	29
Carga volumétrica (g/m ³ .día)	350
% de remoción DBO	70%
Profundidad (m)	2,5

Fuente: Elaboración Propia

Con base en la tabla 18, y de acuerdo a la temperatura, la carga volumétrica para una temperatura de 29°C es de 350 g DBO/m³.día.

Tabla 108 Valores de diseño de cargas volumétricas permisibles de DBO y porcentaje de remoción de DBO en estanques anaeróbicos a diversas temperaturas

Temperatura (°C)	Carga volumétrica (g/m ³ .día)	DBO removido (%)
<10	100	40
10-20	20T - 100	2T + 20
20-25	20T + 100	2T + 20
>25	350	70

Mara and Pearson, 1986 and Mara et al. 1997

El volumen de la laguna anaeróbica viene dado por la ecuación:

$$V_a = \frac{DBO_5 Q_{LA}}{\lambda_v}$$

$$V_a = \frac{44,84 \frac{g}{m^3} \times 4881,03 \frac{m^3}{día}}{350 \frac{g}{m^3 \cdot día}} = 625,33 m^3$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

El tiempo de retención (θ_a , días) viene dado por la ecuación:

$$\theta_a = \frac{V_a}{Q_{LA}}$$

$$\theta_a = \frac{625,33 \text{ m}^3}{4881,03 \text{ m}^3/\text{día}} = 0,13 \text{ días}$$

Con una profundidad de 2,5 m, el área de la laguna anaeróbica es de aproximadamente 300 m². A 29°C, la remoción de DBO es del 70% (Tabla 18) por lo que la DBO del efluente de la laguna queda de la siguiente forma:

$$DBO \text{ salida} = DBO_5 * (1 - \% \text{ de remoción DBO})$$

$$DBO \text{ salida} = 44,84 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * (1 - 0,70) = 13,45 \text{ mg/L}$$

Resumen de resultados de la laguna anaeróbica

En la tabla 19 se pueden ver los valores obtenidos en el diseño de la laguna anaeróbica.

Tabla 119 Resumen de resultados del diseño de la laguna anaeróbica.

<i>Dato</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
Q_{LA}	<i>m³/día</i>	4881,03
<i>DBO</i>	<i>mg/L</i>	44,84
<i>Temperatura</i>	<i>°C</i>	29
<i>Carga volumétrica</i>	<i>g/m³.día</i>	350
<i>% de remoción DBO</i>	<i>%</i>	70
<i>Profundidad</i>	<i>m</i>	2,5
V_a	<i>m³</i>	625,33
<i>Área laguna</i>	<i>m²</i>	300
θ_a	<i>día</i>	0,13

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

DBO Efluente

mg/L

13,45

Fuente: Elaboración propia

Desinfección

El objetivo de la desinfección es eliminar los patógenos que pueden afectar la salud humana, entre los cuales se encuentran bacterias, virus, y quistes amebianos, se tiene que tener en cuenta que la desinfección no es lo mismo que la esterilización, ya que este último es más exigente puesto que consiste en la destrucción de todos los organismos presentes en el agua (Davis, 1976).

Para este diseño los datos iniciales necesarios para comenzar son los siguientes:

- ❖ Caudal: $Q_{DD} = 4881,03 \text{ m}^3/\text{día}$
- ❖ Para una dosis de desinfección con cloro de 200 el tiempo requerido T_{10} es 100 min
- ❖ $T_{10}/T_0 = 0,7$ (tabla 20)

(Davis, 1976)

Para comenzar se calcula el tiempo de retención hidráulico requerido:

$$T_0 = \frac{T_{10}}{0,7}$$

$$T_0 = \frac{100 \text{ min}}{0,7} = 142,86 \text{ min} = 145 \text{ min}$$

Luego se determina el volumen necesario del reactor:

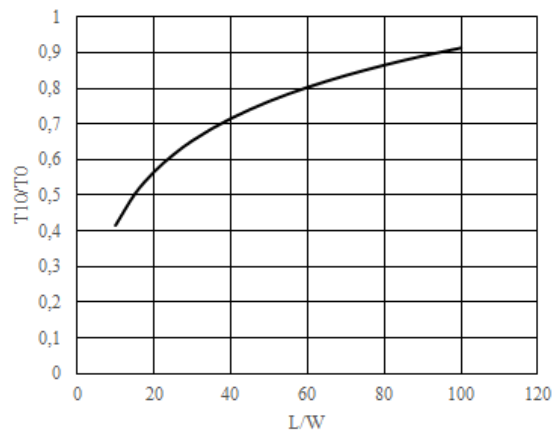
$$V_c = Q_{DD} \times T_0$$

$$V_c = 4881,03 \text{ m}^3/\text{día} * 145 \text{ min} \left(\frac{1 \text{ día}}{1440 \text{ min}} \right) = 491,49 \text{ m}^3$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Con esto se puede obtener las dimensiones del canal, sin embargo se debe asignar una relación largo-profundidad de acuerdo a la ilustración 10, en la cual se observa que es una relación de casi 40 para un $T_{10}/T_0 = 0,7$, para redondear se dejará en $L/W=40$ y se asumirá que el ancho del canal será 3 veces la profundidad.

Ilustración 9 Relación L/W según T10/T0.



Davis, M. (1976). Water and wastewater engineering (7.a ed.). Chang, R. Chemistry.

Sabiendo esto las relaciones de dimensiones quedaría:

$$L = 40 W$$

$$H = 3 W$$

Y la ecuación de volumen sería:

$$V_c = 40W * 3W * W = 120W^3$$

Igualando con el valor de volumen W sería:

$$491,49 \text{ m}^3 = 120 W^3$$

$$W = \left(\frac{491,49 \text{ m}^3}{120} \right)^{1/3} = 1,6 \text{ m}$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Entonces las dimensiones reales son:

$$L = 40 * 1,6 \text{ m} = 64,0 \text{ m}$$

$$H = 3 * 1,6 \text{ m} = 4,8 \text{ m}$$

Debido a que se escogió una relación de $T_{10}/T_0 = 0,7$, en la tabla 20 se ven las condiciones y descripciones de los baffles necesarias para este factor:

Tabla 120 Clasificación de baffles según T_{10}/T_0 .

Desempeño	T_{10}/T_0	Descripción del baffle
<i>Muy pobre</i>	<i>0,1</i>	<i>Sin deflectores (flujo mixto), agitado, relación de largo a ancho muy baja, altas velocidades de flujo de entrada y salida.</i>
<i>Pobre</i>	<i>0,3</i>	<i>Entradas y salidas simples o múltiples sin deflectores dentro del lavabo.</i>
<i>Promedio</i>	<i>0,5</i>	<i>Entrada o salida con algunos deflectores dentro del lavabo.</i>
<i>Superior</i>	<i>0,7</i>	<i>Deflector de entrada perforado, deflectores intra-lavabo perforados o serpentinos, vertedero de salida o lavadores perforados.</i>
<i>Perfecto</i>	<i>1.0</i>	<i>Relación de largo a ancho muy alta (flujo de tubería), deflectores perforados de entrada, salida y dentro del lavabo.</i>

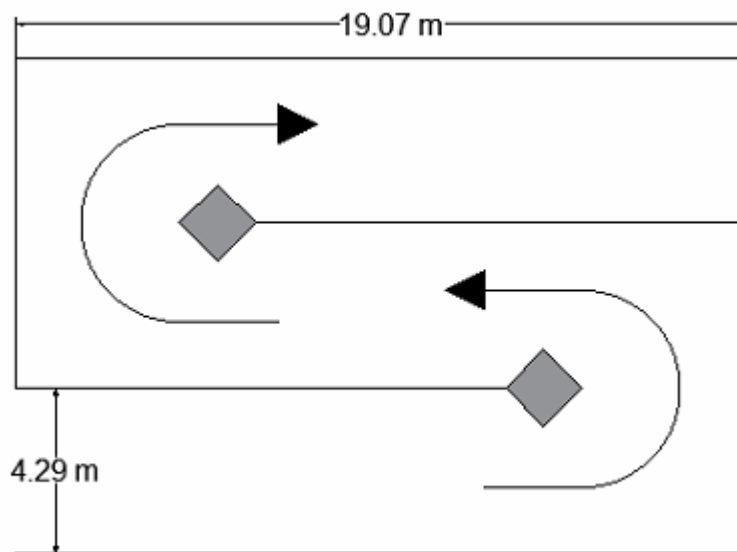
Davis, M. (1976). Water and wastewater engineering (7.a ed.). Chang, R. Chemistry.

La cámara de contacto de cloro será en forma de serpentina longitudinal de 3 canales (Ver ilustración 11), por lo tanto para conocer la longitud del desinfectador se dividirá la longitud total en 3:

$$\text{Longitud de la serpentina} = 63,8 \text{ m} / 3 = 21,33 \text{ m}$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Ilustración 10 Canal de desinfección



Fuente: Elaboración propia

Resumen de resultados de la desinfección

En la tabla 21 se pueden ver los valores obtenidos en el diseño de la desinfección.

Tabla 21 Resumen de resultados del diseño de la desinfección.

<i>Dato</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
Q_{DD}	$m^3 / día$	4881,03
Ct		200
$T10$	<i>min</i>	100
$T0$	<i>min</i>	145
V_c	m^3	491,49
L	<i>m</i>	63,99
H	<i>m</i>	4,8
W	<i>m</i>	1,59
<i>Longitud serpentina</i>	<i>m</i>	21,33

Fuente: Elaboración propia

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tratamiento de lodos

Durante el tratamiento de las aguas residuales se produce lodos como consecuencia de la disminución de contaminantes en el agua, de las plantas de aguas residuales se obtiene dos tipos de lodos, los cuales son los lodos primarios que salen del tratamiento primario y los lodos secundarios que salen del reactor UASB, identificar estos tipos es importante puesto que cada uno entrará a una fase diferente del tratamiento de lodos, sin embargo si la cantidad de lodos primarios y secundarios no son altos se pueden mezclar obteniendo un lodo combinado, por lo tanto se tratarán con las condiciones de los lodos primarios. (Orozco, 2014, Pág. 417)

En el tratamiento de lodos se debe lograr la estabilización y disminución de los lodos, para ello se puede recurrir al tratamiento químico o tratamiento biológico, pero en la medida de lo posible se debe evitar el tratamiento químico, esto por dos razones, la primera es que este método genera mayor volumen de lodos, y la segunda es que convierte los lodos en residuos tóxicos dificultando su disposición final. (Orozco, 2014, Pág. 417)

El tratamiento biológico comienza con los lodos primarios, a menos que sean combinados, en esta primera fase se procede a una digestión de los mismos, convirtiendo los lodos en biomasa y utilizando esta misma materia como alimento del proceso, logrando así que el volumen disminuya. Esta transformación se lleva a cabo hasta que los lodos no se pueden descomponer más, es decir, que logren estabilizarse, la instalación encargada de esta es llamada espesador, y en la segunda fase se une los lodos secundarios, aquí la materia ya se encuentra digerida por lo tanto ya está en estado de biomasa, para los espesadores se da unos parámetros de diseño en la tabla 22. (Orozco, 2014, P. 417).

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tabla 132 Parámetros de diseño para el espesamiento.

Parámetro	Restricciones	Valores recomendados
<i>Carga superficial</i>	<i>Lodos primarios</i>	90 – 120 kg/m ² . día
	<i>Lodos secundario</i>	20 – 30 kg/m ² . día
<i>Profundidad Media</i>		3-4 m

Orozco, A. (2014). *Bioingeniería de aguas residuales (2.a ed.)*. Pág. 421, Acodal.

Después del espesador se debe llevar a cabo la deshidratación, la cual lleva las concentraciones de un 20 al 30% para luego ser dispuesto como un residuo sólido, para este tratamiento se puede emplear filtros de prensa, filtros de banda y centrífugas, siendo estos procesos mecánicos, también se puede emplear lechos de secado que a diferencia de los anteriores no es mecánico y por lo tanto es más económico, pero requiere más área, estos son utilizados para valores de población bajas, los lechos de secado al trabajar con evapotranspiración es una metodología muy utilizada en Latinoamérica, ya que presenta las condiciones climáticas adecuadas. (Orozco, 2014, Pág. 441).

Las variables de diseño para los lechos de secado son:

- ❖ Producción de lodos: Los datos de concentraciones de los lodos se observan en la tabla

23

Tabla 143 Concentración de sólidos provenientes del ARD.

Tipo de lodo	% de sólidos	
	No digerido	Digerido
<i>Sedimentación primaria</i> <i>-Sin espesar</i>	2,5-5,0	6,0-12,0

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

-Espesado	5,0-10,0	-
Filtro percolador		
-Sin espesar	3,0-6,0	6,0-8,0
-Espesado	7,0-9,0	-
Lodos activados		
-Sin espesar	5,0-1,2	2,0-3,0
-Espesado	2,5-3,3	-
Sedimentación primaria + Filtro percolador		
-Sin espesar		
-Espesado	3,0-6,0 7,0-9,0	6,0-10,0 -
Sedimentación primaria + Lodos activados		
-Sin espesar		
-Espesado	2,6-4,8 4,6-9,0	3,0-7,0 -

Orozco, A. (2014). *Bioingeniería de aguas residuales (2.a ed.)*. Pág. 420, Acodal.

- ❖ Lecho de arena: de 0,2 a 0,3 m de arena con tamaño efectivo de 0,4 a 0,6 mm.
- ❖ Tubería de drenaje a junta perdida en lecho de grava con pendiente mínima del 1% y separada de 2 a 6 m.
- ❖ Un ciclo de secado debe llenar uno o dos lechos de secado.
- ❖ El transporte de los lodos por tubería se deben para una velocidad de 0,75 m/s y ésta debe llegar a los lechos de secado para formar una película inicial de lodos de 0,075 m de espesor.
- ❖ Los requerimientos de área para obtener un contenido de humedad de 60 o 70 % en unos 10 a 15 días se muestran en la tabla 45.

(Orozco, 2014, Pág. 424).

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Tabla 154 Requerimientos de área para lechos de secado.

Tipo de Biosólidos	m² /persona	kg/m².año de sólidos
<i>Primario digerido</i>	0,1	120-150
<i>Filtro percolador digerido</i>	0,12-0,16	90-120
<i>Lodos activados digeridos</i>	0,16-0,24	60-100

Orozco, A. (2014). *Bioingeniería de aguas residuales (2.a ed.)*. Capítulo 8, Acodal.

Para comenzar con los cálculos se tendrá los siguientes datos iniciales:

- ❖ Caudal de diseño: $Q_{DL} = 56,49 \text{ L/s} = 203,38 \text{ m}^3/\text{hora}$
- ❖ Concentración de lodos: $X = 40000 \text{ mg/L}$
- ❖ Relación de concentraciones: $X/X_t = 0,75$
- ❖ Tiempo de detención: $TRH_{TL} = 12 \text{ horas}$
- ❖ Tiempo de retención celular: $TRC = 2 \text{ días}$
- ❖ Concentración de lodos del sedimentador primario: $2,5\% = 25 \text{ kg/m}^3$

Para considerar la concentración de lodos X se asumió el valor de SST dentro del reactor UASB, este dato fue seleccionado de información típica de reactores UASB siendo $X = 40000 \text{ mg/L}$. (Borja, 2015)

Con esto se puede empezar a determinar la producción de lodos, para ello se utilizará la siguiente ecuación para calcular el volumen del reactor:

$$V_{rl} = Q_{DL} * TRH_{TL}$$

$$V_{rl} = 203,38 \text{ m}^3/\text{hora} * 12 \text{ horas} = 2440,515 \text{ m}^3$$

Posteriormente se dará la concentración de lodos en el reactor:

$$X_T = \frac{X}{0,75}$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

$$X_T = \frac{40000 \text{ g/m}^3}{0,75} = 53333,33 \text{ g/m}^3 = 53,33 \text{ kg/m}^3$$

Con esto se podrá dar la tasa de lodos de excesos:

$$P_x = V_{lr} X_T / TRC$$

$$P_x = \frac{2440,515 \text{ m}^3 * 53,33 \text{ kg/m}^3}{30 \text{ días}} = 65080,4 \text{ kg/día} = 2711,68 \text{ kg/hora}$$

Estos lodos serán con una concentración del 2,5% de acuerdo a la tabla 23, entonces el caudal de lodos de excesos es:

$$Q_w = P_x / 0,025$$

$$Q_w = \frac{2711,68 \text{ kg/hora}}{0,025} = 108467,33 \text{ L/hora} = 108,47 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Sabiendo esto se comenzará con el diseño del espesador, para el cual se determinó una carga de sólidos $Q_s = 105 \text{ kg/m}^2.\text{día}$ de acuerdo a la tabla 24, lo cual se utilizará para determinar el área superficial para los lodos del espesador despejado de la siguiente fórmula:

$$Q_s = \frac{Q_w X_e}{A_{sl}}$$

$$A_{sl} = \frac{108,47 \text{ m}^3/\text{h} * 25 \text{ Kg/m}^3}{4,375 \text{ Kg/m}^2.\text{hora}} = 619,81 \text{ m}^2$$

Y así se puede obtener el diámetro del espesador:

$$D_L = \sqrt{\frac{4}{\pi} * A_{sl}}$$

$$D_L = \sqrt{\frac{4}{\pi} * 619,81 \text{ m}^2} = 28,09 \text{ m} \approx 29 \text{ m}$$

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Después del espesador la concentración del lodo cambia, ya que pasan de no digeridos a estar espesados (digeridos), de acuerdo a la tabla 23 la nueva concentración es del 6,5% (65 kg/m^3). Sabiendo esto se puede proseguir con el cálculo del lecho de secado.

Para el lecho de secado se debe conocer el volumen que supondría la nueva concentración, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{L2} = V_{L1} * \frac{P_{L1}}{P_{L2}}$$

$$V_{L2} = 108,47 * \frac{0,025}{0,065} = 41,72 \text{ m}^3/\text{hora} = 1001,24 \text{ m}^3/\text{día}$$

La recomendación de área requerida para los lechos de secado se puede encontrar en la tabla 22, de la cual se escogió de $120 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{año}$ ($0,329 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{día}$), la carga de sólidos para una concentración de 6,5% (65000 mg/L) es:

$$Q_x = V_{L2} * X_e$$

$$Q_x = 41,27 \text{ m}^3/\text{hora} * 65 \text{ kg/m}^3 = 2711,68 \text{ kg/hora}$$

El área del lecho de secado sería:

$$A_{s2} = \frac{Q_x}{Q_s}$$

$$A_{s2} = \frac{2711,68 \text{ kg/hora} * (24 \text{ hora/día})}{0,329 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{día}} = 197952,88 \text{ m}^2$$

Esta área será redondeada a 198000 m^2 .

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
 PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Entonces si la descarga diaria es de $1001,24 \text{ m}^3/\text{día}$ y la película por descarga es de $0,075 \text{ m}$, entonces se requerirá un área de:

$$A_{descarga} = \frac{\text{Descarga diaria}}{\text{Altura de película}}$$

$$A_{descarga} = \frac{1001,24 \text{ m}^3/\text{día}}{0,075 \text{ m}} = 13349,82 \text{ m}^2/\text{día}$$

Por lo tanto el tiempo de detención en el lecho de secado será:

$$\theta_{LS} = \frac{A_{s2}}{A_{descarga}}$$

$$\theta_{LS} = \frac{198000 \text{ m}^2}{13349,82 \text{ m}^2/\text{día}} = 14,8 \text{ días}$$

El tiempo de detención según lo especificado para lechos de secado debe ser menor a 15 días, por lo tanto el diseño cumple con los requerimientos.

Resumen de resultados del tratamiento de lodos

En la tabla 25 se pueden ver los valores obtenidos en el diseño del tratamiento de lodos.

Tabla 165 Resumen de resultados del diseño del tratamiento de lodos.

<i>Dato</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
Q_{DL}	m^3/hora	203,38
X	mg/L	40000
X/X_T	-	0,75
TRH_{TL}	horas	12
TRC	días	2
X_e	%	2,5

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

<i>Dato</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>
<i>Producción de lodos</i>		
V_{rl}	m^3	2440,515
X_T	kg/m^3	53,33
P_x	$kg/hora$	2711,68
Q_w	$m^3/hora$	108,467
<i>Espesador</i>		
Q_s	$kg/m^2.día$	105
A_{sl}	m^2	619,81
D_L	m	29
X_e	$\%$	6,5
<i>Lecho de secado</i>		
V_{L2}	$m^3.día$	1001,24
Q_s	$kg/m^2.año$	120
X_e	kg/m^3	65
Q_x	$kg/hora$	2711,683
A_{s2}	m^2	198000
$A_{descarga}$	m^2	13349,82
θ_{LS}	$día$	14,83

Fuente: Elaboración propia

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Eficiencia esperada de la planta

Los datos iniciales de DBO, DQO, y SST son:

DBO=383,27 mg/L

DQO=181,18 mg/L

SST=85 mg/L

Las eficiencias de remoción para cada parámetro en cada fase de tratamiento se encuentran en la tabla 26.

Tabla 176 Eficiencias de la PTAR por fases.

<i>Fase</i>	<i>Instalación</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Valor Final (mg/L)</i>	<i>Eficiencia</i>
<i>Pre-tratamiento</i>	<i>Cribado</i>	<i>DQO</i>	<i>383,27</i>	<i>0</i>
		<i>DBO</i>	<i>181,18</i>	<i>0</i>
		<i>SST</i>	<i>42,59</i>	<i>50</i>
<i>Trat. Primario</i>	<i>Sed. primaria</i>	<i>DQO</i>	<i>229,96</i>	<i>40</i>
		<i>DBO</i>	<i>108,71</i>	<i>40</i>
		<i>SST</i>	<i>29,81</i>	<i>65</i>
<i>Trat. Secundario</i>		<i>DQO</i>	<i>125,87</i>	<i>67</i>
		<i>DBO</i>	<i>44,84</i>	<i>75</i>
		<i>SST</i>	<i>28,32</i>	<i>70</i>
<i>Desinfección</i>	<i>Laguna anaeróbica</i>	<i>DQO</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
		<i>DBO</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
		<i>SST</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
	<i>Cloración</i>	<i>DQO</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
		<i>DBO</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

<i>Fase</i>	<i>Instalación</i>	<i>Parámetro</i>	<i>Valor Final (mg/L)</i>	<i>Eficiencia</i>
		<i>SST</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>

Fuente: Elaboración propia

Cumplimiento de la resolución 631 del 2015.

En el artículo 8 de resolución 631 da los parámetros fisicoquímicos y los valores límites máximo permisibles en los vertimientos de aguas residuales domésticas a cuerpos de aguas superficiales, en la tabla 27 se presenta la comparación de los valores teóricos obtenidos de la planta prediseñada y los valores exigidos en la norma:

Tabla 187. Comparación de datos de la PTAR con la resolución 631 del 2015.

<i>Parámetro</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor PTAR</i>	<i>Valor Resolución</i>
<i>pH</i>	<i>und de pH</i>	<i>6,8</i>	<i>6,0-9,0</i>
<i>DQO</i>	<i>mg/L</i>	<i>125,87</i>	<i>180</i>
<i>DBO</i>	<i>mg/L</i>	<i>44,84</i>	<i>90</i>
<i>SST</i>	<i>mg/L</i>	<i>28,32</i>	<i>90</i>
<i>Nitratos</i>	<i>mg/L</i>	<i>-</i>	<i>Análisis y reportes</i>
<i>Nitritos</i>	<i>mg/L</i>	<i>-</i>	<i>Análisis y reportes</i>
<i>Nitrógeno amoniacal</i>	<i>mg/L</i>	<i>-</i>	<i>Análisis y reportes</i>

Resolución 631, 2015, Elaboración propia

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Conclusiones

Al finalizar este proyecto se puede observar que se logró el desarrollo de los cálculos de diseño cumpliendo con la normativa vigente para Colombia, siendo este el RAS-2017, esta norma estipula parámetros para el desarrollo de los cálculos que garantiza el correcto funcionamiento y cumplimiento de eficiencias de la planta, por lo cual durante el diseño siempre se tuvo presente las recomendaciones dadas por el RAS además de las sugerencias de autores que presentan diseños referentes al tema de este proyecto. Así mismo, se compararon los resultados de los datos de contaminación finales calculados de las instalaciones diseñadas con valores de parámetros máximos permitidos presentados por la resolución 631 del 2015, observando así que se cumpliría con los requerimientos de vertimiento exigidos.

En Colombia es obligatorio que los municipios cuenten con un tratamiento de aguas residuales antes de ser vertidas en cuerpos de aguas, esto siendo nombrado en el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales dado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, por lo tanto para Puerto Boyacá este prediseño puede ser una base para el desarrollo de un proyecto de diseño y construcción de una planta de aguas residuales, representando un avance para el cumplimiento de sus objetivos.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Recomendaciones

El presente diseño sirve como base para la toma de decisiones para el municipio para dar cumplimiento a la exigencia estatal sobre el manejo de vertimientos, por lo cual se recomienda que se realice estudios de topografía y de nivel freático que servirán para encontrar una zona adecuada y dentro de las normativa para la implementación de la construcción del proyecto, la ubicación de la planta de cumplir también con las distancias mínimas mencionadas en el artículo 183 del RAS-2017.

Por otro lado, al analizar el sistema de alcantarillado del municipio se encontró que existen distintos puntos de descarga del residual, por lo cual se sugiere que como paso anterior a la implementación de la planta se realice un tubería que recolecte el agua residual de cada uno de estas descargas y la redirija al punto de inicio del tratamiento de la planta.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Notación y terminología

UASB Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Manta de lodo anaeróbico de flujo ascendente)

CR = Coeficiente de retorno

C = Consumo promedio por habitante (L/hab/día)

P₂₀₅₀ = Población futura par el año 2050 (hab)

Q_{md} = Caudal medio diario (L/s)

Q_{max.horario} = Caudal máximo horario (L/s)

Q_{max.diario} = Caudal máximo diario (L/s)

Q_{max.mensual} = Caudal máximo mensual (L/s)

DBO = Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)

DQO = Demanda química de oxígeno (mg/L)

Q_{DR} = Caudal de diseño para la rejilla (m³/s)

d = Profundidad del canal del tratamiento preliminar (m)

#barras = Número de barras de la rejilla (und)

E = Espaciamiento entre barras de rejilla (m)

D_{barras} = Diámetro de las barras de rejilla (m)

A_{Total} = Área total del canal (m²)

A_{esp} = Area total de los espaciados en la rejilla (m²)

V_a = Velocidad de aproximación a la rejilla (m/s)

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

V_b = Velocidad entre de la rejilla (m/s)

H_f = Pérdidas de cabeza de energía (m)

C_d = Coeficiente de eficiencia según obstrucción de la rejilla

Q_{DS} = Caudal de diseño del sedimentador (L/s)

TDS = Tasa de desbordamiento superficial ($m^3 / m^2 \cdot \text{día}$)

b = Ancho del lavado de efluentes (m)

A' = Área superficial requerida en el sedimentador (m^2)

D = Diámetro requerido en el sedimentador (m)

V_{SED} = Volumen real de la cuenca (m^3)

θ = Tiempo de detención en el sedimentador (horas)

D_{plato} = Diámetro de la placa del vertedero de efluentes (m)

L_{plato} = Longitud de la placa del vertedero de efluentes (m)

Carga vertedero = Carga del vertedero del sedimentador ($m^3 / m \cdot \text{día}$)

$Q_{diseño}$ = Caudal de diseño del reactor UASB ($m^3 / \text{día}$)

V_{total} = Volumen total necesario en el reactor UASB (m^3)

TRH = Tiempo de retención hidráulico en el reactor UASB (horas)

V_{unidad} = Volumen por unidad de reactor UASB (m^3)

COV = Carga orgánica volumétrica ($Kg DQO / m^3 \cdot \text{día}$)

Q_{und} = Caudal medio por unidad de reactor UASB (m^3 / hora)

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Q_{pico} = Caudal pico por unidad de reactor UASB ($m^3/hora$)

$K2$ = Factor de mayoración para caudal pico

$A_{reactor}$ = Área necesaria por reactor UASB (m^2)

H = Ancho de la base del reactor UASB (m)

L = Largo de la base del reactor UASB (m)

V_{asc} = Velocidad ascendente en el reactor UASB (m/hora)

TRH_{pico} = Tiempo de retención hidráulico para caudal pico (horas)

$V_{asc\ pico}$ = Velocidad ascendente en el reactor UASB para caudal pico (horas)

$V_{abertura}$

= Velocidad en las aberturas del separador trifásico para caudal medio (m/hora)

$A_{aberturas}$ = Área de las aberturas del separador trifásico (m^2)

$V_{aberturas\ pico}$

= Velocidad en las aberturas del separador trifásico para caudal pico (m/hora)

L_{sep} = Longitud del separador trifásico (m)

H_{sep} = Ancho del separador trifásico (m)

$A_{aber-und}$ = Área por und de separador trifásico (m^2)

$V_{sedimentación}$ = Volumen de sedimentación en el reactor UASB (m^3)

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

TRH_{ZS}

= *Tiempo de retención hidráulico en la zona de sedimentación del reactor UASB (horas)*

$A_{disponible}$ = *Área disponible para la sedimentación del reactor UASB (m²)*

$A_{min\ sedimentación}$

= *Altura mínima necesaria para la sedimentación del reactor UASB (m)*

V_{Qm} = *Velocidad en la zona de sedimentación del reactor UASB (m/hora)*

TRH_{Qpico}

= *Tiempo de retención hidráulico para caudal pico en la zona de sedimentación (hora)*

V_{Qpico} = *Velocidad en la zona de sedimentación par caudal pico (m/hora)*

$A_{Boquilla}$ = *Área de las tuberías de distribución (m²)*

$Q_{Boquilla}$ = *Caudal en las tuberías de distribución (m³/s)*

$D_{Boquillas}$ = *Diámetro de las tuberías de distribución (m)*

$V_{Boquillas}$ = *Velocidad en la tuberías de distribución (m/s)*

E_{DBO} = *Eficiencia de remoción de DBO en el reactor UASB (%)*

E_{DQO} = *Eficiencia de remoción de DQO en el reactor UASB (%)*

$C_{efl\ DBO}$ = *Cantidad de DBO en el efluente del reactor UASB (mg/L)*

$C_{efl\ DQO}$ = *Cantidad de DQO en el efluente del reactor UASB (mg/L)*

DQO_{CH_4} = *Producción teórica de metano (kg/día)*

Q_{CH_4} = *Producción volumétrica de metano (m³/día)*

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Q_g = Producción de biogás en el reactor UASB ($m^3/día$)

L_t de colector = Longitud total del colector de gas (m)

A_{tg} = Área total del colector de gas (m^2)

K_g = Tasa de liberación de gas (m/hora)

H_g = Ancho del colector de gas (m)

Q_{DL} = Caudal de diseño de tratamiento de lodos ($m^3/hora$)

X = Concentración de lo lodos a tratar (mg/L)

X_t = Concentración de lodos en el reactor (kg/m^3)

TRH_{TL} = Tiempo de retención hidráulico en el tratamiento de lodos (horas)

TRC = Tiempo de retención de los lodos (días)

V_{rl} = Volumen del reactor de lodos (m^3)

P_x = Lodos de excesos (kg/día)

X_e = Concentración de los lodos (kg/m^3)

Q_w = Caudal de lodos de exceso ($m^3/hora$)

Q_s = Carga superficial para los lodos ($kg/m^2 \cdot día$)

A_{sl} = Área superficial para los lodos en el espesador (m^2)

D_L = Diámetro del reactor de lodos (m)

V_{L1} = Volumen de lodos sin digerir ($m^3/hora$)

V_{L2} = Volumen de lodos digeridos ($m^3/hora$)

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

P_{L1} = Porcentaje de sólidos sin digerir (%)

P_{L2} = Porcentaje de sólido digeridos (%)

Q_x = Carga de sólidos (kg/hora)

A_{s2} = Área superficial en el lecho de secado (m^2)

$A_{descarga}$ = Área requerida por descarga en el lecho de secado (m^2)

θ_{LS} = Tiempo de retención en el lecho de secado (días)

Q_{LA} = Caudal de diseño de la laguna anaeróbica (m^3 /día)

V_a = Volumen de la laguna anaeróbica (m^3)

θ_a = Tiempo de retención en la laguna anaeróbica (días)

Q_{DD} = Caudal de diseño para la desinfección (m^3 /día)

Ct = Dosis de desinfección

T_{10} = Tiempo requerido para la dosis de desinfección (min)

T_0 = Tiempo de retención en la desinfección (min)

V_c = Volumen del reactor de desinfección (m^3)

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Referencias

Plan de ordenamiento Territorial. (s. f.). SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN. Recuperado octubre de 2020, de <http://www.sdp.gov.co/micrositios/pot/que-es>

Naciones Unidas. (s. f.). Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado octubre de 2020, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

Colombia Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Departamento Nacional de Planeación. (2014). Plan nacional de manejo de aguas residuales municipales en Colombia. http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/plan_nacional_de_manejo_de_aguas_residuales_municipales_en_colombia.pdf

López del Pino Sergio Jesús, Martín Calderón Sonia (2015), Depuración de aguas residuales.

Belzona. (2020). Tratamiento de Aguas Residuales, https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Carlos Rodríguez. (2007). Dureza Total en Agua con EDTA por Volumetría, <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Dureza+total+en+agua+con+EDTA+por+volumetr%C3%ADa.pdf/44525f65-31ff-482e-bbf6-130f5f9ce7c3>

Martínez Freddy, Ysase Tibisay. (2007). Descripción de los tipos de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, Universidad de Oriente, núcleo de anzoátegui escuela de ingeniería y ciencias aplicadas, departamento de ingeniería civil

Caicedo Francisco (2006) Diseño, construcción y arranque de un reactor UASB. piloto para el tratamiento de lixiviados, Universidad Nacional de Manizales, Especialización en ingeniería ambiental – área sanitaria.

Arvizu José. Tratamiento anaerobio-aerobio de las aguas residuales de las instalaciones del IIE. Recuperado de: <https://www.ineel.mx/publica/bolso96/aplica.htm>

Remtavares (2012) Biodegradabilidad de efluentes resultantes del tratamiento de clorofenoles mediante hidrodecloración catalítica. Recuperado de: <https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2012/12/10/131836#:~:text=Un%20%C3%A9ndice%20de%20biodegradabilidad%20sencillo,la%20relaci%C3%B3n%20DBO5%2FDQO.&text=Un%20objetivo%20de%20los%20procesos,para%20facilitar%20su%20tratamiento%20biol%C3%B3gico>.

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Ruiz Mariana , Pastor Karla y Acevedo Adriana (2013), Biodegradabilidad de Artículos Desechables en un Sistema de Composta con Lombriz, Universidad Iberoamericana, Departamento de Ingenierías, Prolong, Recuperado de:https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000200007

Buenaventura, M., Tamayo, M. (2010). ANÁLISIS DE LOS VERTIMIENTOS EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ (BOYACÁ) AL RÍO MAGDALENA Y OTRAS FUENTES HÍDRICAS. UNIVERSIDAD LIBRE.

DANE. (1993). Censo Nacional de Población y Vivienda. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

DANE. (2018). Censo Nacional de Población y Vivienda. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

SUPERINTENDENCIA DELEGADA DE ACUEDUCTO ALCANTARILLADO Y ASEO DIRECCIÓN TÉCNICA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO. (2016, Agosto). Evaluación Integral de Prestadores Empresas Públicas de Puerto Boyacá. Superservicios.

<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Acueducto%2C%20alcantarillado>

PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

%20y%20aseo/Acueducto%20y%20Alcantarillado/2018/Dic/2016evaluacionintegraldepres
tadoresempresapublicasdepuertoboyaca.pdf

Qasim, S., & Zhu, G. (2018). Wastewater treatment and reuse (2.a ed., Vol. 2). CP&Y,
Inc.

Davis, M. (1976). Water and wastewater engineering (7.a ed.). Chang, R. Chemistry.

De Lemos Chernicharo, C. (2007). Biological Wastewater Treatment Series (Vol. 4).
IWA Publishing. Tabla 5.8

Tiempo en Puerto Boyacá - RP5. (2021, 21 mayo). Tiempo en Puerto Boyacá.
http://rp5.co.za/Tiempo_en_Puerto_Boyac%C3%A1

Orozco, A. (2014). Bioingeniería de aguas residuales (2.a ed.). Capítulo 8, Acodal.

Borja Iglesias Jato. (2015, Agosto). Diseño e Implantación de un Reactor Anaerobio
UASB en la Industria de los lácteos para su uso como fuente de energía en co-generación.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI).

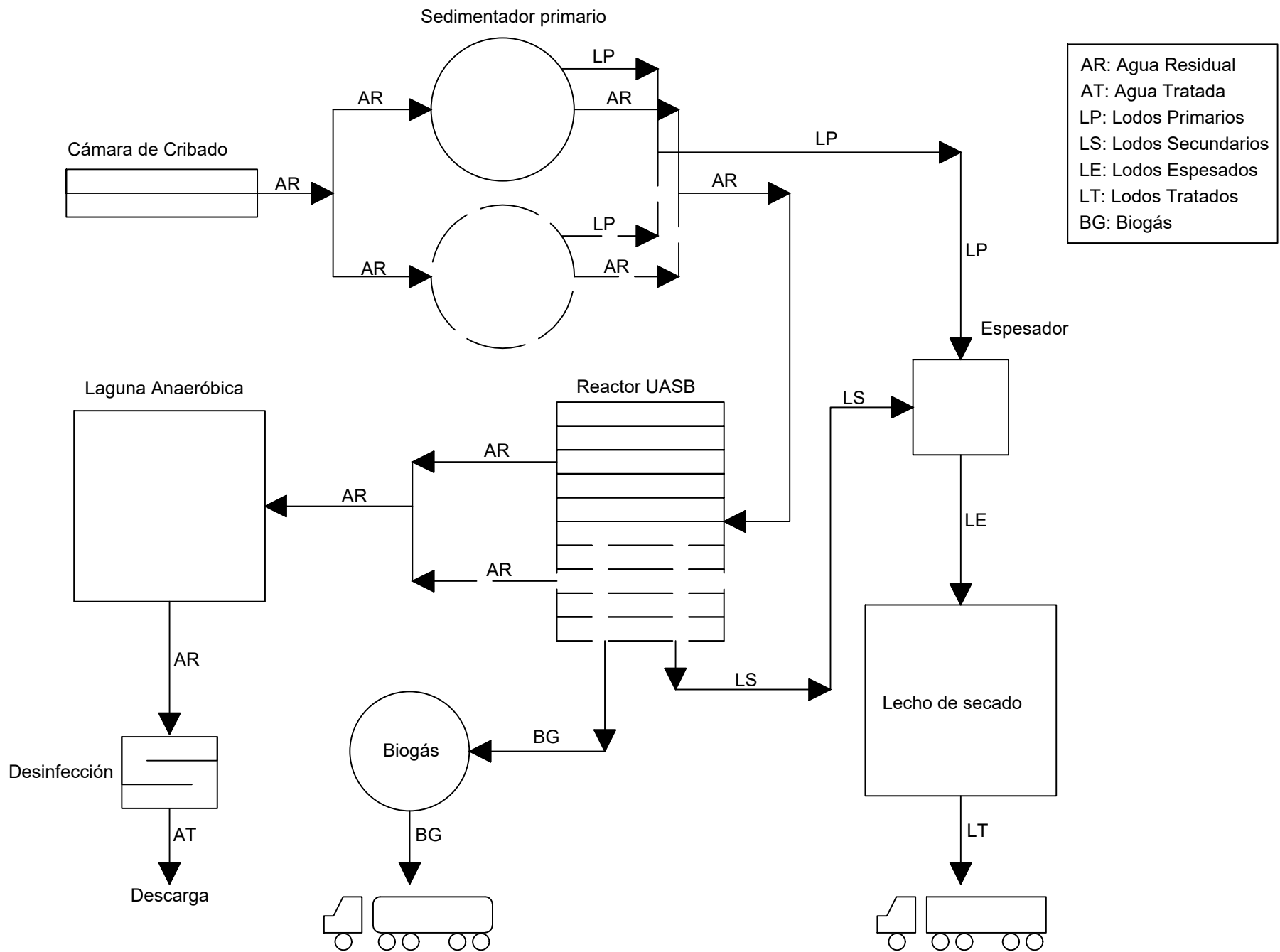
PREDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE PUERTO BOYACÁ, BOYACÁ

Reyes, M. (2016, diciembre). Uso del cloro en las plantas de tratamiento de Aguas Residuales Domésticas: Desinfección y Formación de Subproductos. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.
<https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/23350/1/Tesis%20Gpe%20Reyes%20.pdf>

Oropeza, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. Revista Caos, 6–7.
http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf

Pimentel, H. R. (2020, 1 septiembre). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>

Márquez, B. F. (2016, 19 septiembre). Conocimientos básicos sobre Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Módulo II). iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/conocimientos-basicos-plantas-tratamiento-aguas-residuales-modulo-ii>



AR: Agua Residual
 AT: Agua Tratada
 LP: Lodos Primarios
 LS: Lodos Secundarios
 LE: Lodos Espesados
 LT: Lodos Tratados
 BG: Biogás

Anexos: PROCESO DE LA PTAR

Nombres: Jessica Paola Fernandez Luisa Fernanda Giraldo

Docente: Fabio Eduardo Díaz
Pre-diseño PTAR municipio Pto. Boyacá, Boyacá.

Año: 2021

N°: 6/6
