

EVALUACIÓN DEL ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE PUERTO GAITÁN -
META



DANIEL MORA GARCÍA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

EVALUACIÓN DEL ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE PUERTO GAITÁN-
META

DANIEL MORA GARCÍA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesor

IBETH ELIANA CALDAS LUJÁN

Profesional en Acuicultura

Esp. Ingeniería Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2020

Autoridades Académicas

P. JOSE GRABRIEL MESA ANGULO, OP

Rector General

P. EDUARDO GONZÁLES GIL, OP

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, OP

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, OP

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota de Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRAN

Decana de la Facultad

IBETH ELIANA CALDAS LUJÁN

Directora de Trabajo de Grado

CHRISTIAN JOSÉ ROJAS REINA

Jurado

SAUL MARTINEZ

Jurado

Contenido

	Pág.
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
CAPITULO I. Preliminares.....	4
Planteamiento del problema.....	4
Objetivos.....	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.....	6
Justificación.....	6
Alcance.....	8
CAPITULO II. Antecedentes.....	9
CAPITULO III. Marco referencial.....	12
3.1. Marco Teórico.....	12
3.1.1. Aguas Residuales Domesticas.....	13
3.1.2. Características de las Aguas Residuales.....	13
3.1.3. Composición de las Aguas Residuales.....	13
3.1.4. Tratamiento de las Aguas Residuales.....	14
3.1.5. Plantas de Tratamiento de Agua Residual Aerobias.....	14
3.1.5.1. Procesos de oxidación biológica.....	15
3.2. Marco Conceptual.....	16
3.3. Marco Legal.....	17
CAPITULO IV. Metodología.....	19
Diagrama metodológico.....	19
Fases metodológicas.....	20
Fase 1. Diagnóstico de equipos y unidades que conforman la segunda etapa de la planta ...	20
Fase 2. Análisis y comparación de la calidad de las aguas del proceso de tratamiento de acuerdo con la legislación vigente.....	21

Fase 3. Manual del proceso de arranque y puesta en marcha de la PTAR	22
CAPITULO V. Resultados y análisis	22
1. Diagnóstico de unidades y equipos de la planta.....	22
Fichas Técnicas	23
1.1. Tratamiento Preliminar.....	23
1.2. Tratamiento Secundario.....	23
1.3. Operación y control	24
2. Calidad de Las Aguas del Proceso de Tratamiento.....	27
2.1. Eficiencia de la segunda etapa de la PTAR según la remoción de carga contaminante. ...	31
3. Manual de arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento.	34
CONCLUSIONES	34
RECOMENDACIONES.....	36
BIBLIOGRAFIA	38
APÉNDICES.....	41

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Normatividad Nacional.....	17
Tabla 2. Parámetros y valores de límites máximos permisibles en vertimientos de aguas puntuales, con métodos e instrumentos implementados por TECNOAMBIENTAL S.A.S.	21
Tabla 3. Tratamiento Preliminar de la segunda etapa de la PTAR.	23
Tabla 4. Tratamiento Secundario de la segunda etapa de la PTAR.....	23
Tabla 5. Equipos complementarios de la segunda etapa de la PTAR.....	24
Tabla 6. Parámetros para la construcción de la segunda etapa de la PTAR de Puerto Gaitán. ...	27
Tabla 7. Valores máximos permisibles en la descarga de la PTAR.	28
Tabla 8. Resultados de la muestra No.1 de los parámetros analizados a la entrada de la PTAR.	28
Tabla 9. Resultados de la muestra No.2 de los parámetros analizados a la salida de la PTAR...	29
Tabla 10. Resultados de la muestra No.3 de los parámetros analizados a la entrada de la PTAR.	29
Tabla 11. Resultados de la muestra No.4 de los parámetros analizados a la salida de la PTAR.	29
Tabla 12. Cumplimiento normativo según los resultados de laboratorio obtenidos para la segunda etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán.....	30
Tabla 13. Eficiencia de remoción de carga contaminante de la segunda etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán, de 5 Am a 12 Pm.....	31
Tabla 14. Eficiencia de remoción de carga contaminante de la segunda etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán, de 1 Pm a 8 Pm.	32
Tabla 15. Personal Planta.....	41
Tabla 16. Mantenimiento de equipos y unidades de la PTAR.....	51

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Puerto Gaitán- Meta.	9
Figura 2. Ubicación geoespacial de la planta de tratamiento de aguas residuales construida en el municipio de Puerto Gaitán..	9
Figura 3. Línea del tiempo según año.....	12
Figura 4. Diagrama metodológico.	20
Figura 5. Unidades y equipos que conforman la segunda etapa de la PTAR..	21
Figura 6. Eficiencia de remoción de contaminante en horario de 5 am a 12 pm.....	32
Figura 7. Eficiencia de remoción de contaminante en horario de 1 Pm a 8 pm.	33
Figura 8. Comparación de eficiencias de remoción de contaminante entre muestreo #1 vs muestreo #2.....	33

Tabla de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Manual de arranque y puesta en marcha para la segunda etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán - Meta.....	41
Apéndice B. Cámara de Alivio de Caudales. Adaptado de; Mora,2020.....	64
Apéndice C. Estación elevadora de aguas residuales. Adaptado de; Mora,2020.	65
Apéndice D. Canales de desbaste y desarenado. Adaptado de; Mora,2020.....	67
Apéndice E. Rejillas de retención de sólidos. Adaptado de; Mora, 2020.....	67
Apéndice F. Canaleta Parshall. Adaptado de; Mora, 2020.	68
Apéndice G. Pozo de bombeo y recirculación. Adaptado de; Mora, 2020.....	69
Apéndice H. Bombas sumergibles para bombeo de agua cruda. Adaptado de; Mora, 2020.	71
Apéndice I. Filtros Percoladores. Adaptado de; Mora, 2020.....	72
Apéndice J. Cámara de distribución de caudales. Adaptado de; Mora, 2020.....	73
Apéndice K. Sedimentadores secundarios. Adaptados de; Mora, 2020.	75
Apéndice L. Pozo de bombeo para lodos. Adaptado de; Mora, 2020.....	76
Apéndice M. Bombas sumergibles para el bombeo de lodos. Adaptado de; Mora, 2020.	77
Apéndice N. Espesadores de lodos. Adaptado de; Mora, 2020.	78
Apéndice O. Lecho de secado para lodos. Adaptado de; Mora, 2020.....	80
Apéndice P. Caseta de operación y control de la PTAR. Adaptado de; Mora, 2020.....	81
Apéndice Q. Sistema eléctrico. Adaptado de; Mora, 2020.....	82
Apéndice R. Rejas de solidos gruesos y desarenador.	82
Apéndice S. Pozo de bombeo de recirculación.....	83
Apéndice T. Filtros percoladores.....	84
Apéndice U. Cámara de distribución de caudales.....	84
Apéndice V. Clarificadores secundarios.....	85
Apéndice W. Pozo de bombeo para lodos.	85
Apéndice X. espesadores de lodos.	86
Apéndice Y. Lecho de secado para lodos.	86
Apéndice Z. Control de equipos electromecánicos.....	87

Resumen

La contaminación generada por el vertimiento de aguas residuales domésticas a fuentes hídricas sin un previo tratamiento se ha convertido en una de las más significativas, afectando de manera directa los procesos de auto depuración de los cauces naturales, e impactando negativamente los ecosistemas y la salud pública, es el caso del municipio de Puerto Gaitán Meta el cual actualmente vierte sus aguas residuales domésticas (ARD) con una cantidad aproximada 1.500 kg DBO/día de manera directa al río Manacacias, desde esta problemática, este proyecto evaluó el arranque y puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio de Puerto Gaitán Meta diseñada para tratar un caudal (Q) de 90 l/s y una máxima carga contaminante de 3.329 kg DBO/Día, determinando la eficiencia de remoción de concentraciones como: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Sólidos Sedimentables (SSED), grasas y aceites, de la planta al momento de verter a la fuente hídrica.

Se realizaron fichas técnicas de equipos y unidades de la planta para así demostrar el estado, las características y las funciones de estos al momento del arranque del sistema de tratamiento, de igual forma este proyecto comparo la calidad de las aguas tanto a la entrada de la planta como a la salida según la Resolución 0631 de 2015 la cual habla sobre “los límites máximos permisibles en los vertimientos para aguas residuales domésticas y aguas residuales no domésticas”, a partir de cuatro muestras compuestas tomadas por parte del laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S certificado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y por último se construyó un manual de arranque y puesta en marcha teniendo en cuenta todas las generalidades observadas y analizadas.

Como resultados, se determinó la calidad de los equipos y unidades en el periodo de los dos meses de arranque y puesta en marcha, como nuevos y de última tecnología, permitiendo lograr el máximo desempeño de la PTAR, por consiguiente y según los conceptos emitidos por parte del laboratorio de aguas a partir de los muestreos realizados en los diferentes puntos del tratamiento, la eficiencia de remoción de la planta supero el 80 % cumpliendo con los límites establecidos incluso muy por debajo de lo establecido por parte de la normatividad colombiana.

Palabras clave: Planta de tratamiento de agua residual, contaminación del agua, vertimientos, agua residual doméstica, tratamiento.

Abstract

Contamination generated by the dumping of domestic wastewater into water sources without prior treatment has become one of the most significant, directly affecting the self-purification processes of natural channels, and negatively impacting ecosystems and public health, This is the case of the municipality of Puerto Gaitán Meta, which currently discharges its domestic wastewater (DDW) with an approximate amount of 1,500 kg BOD / Day directly to the Manacacias River, From this problem this project evaluated the start-up of the wastewater treatment plant (WWTP), designed to treat a flow rate (F) of 90 l/s and a maximum contaminant load of 3,329 kg BOD/Day, determining the efficiency of removal of concentrations such as: Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), pH, Total Suspended Solids (SST), Settleable Solids (SSED), fats and oils, of the plant at the time of discharge to the hydro source.

Technical sheets of equipment and units of the plant were made in order to demonstrate their status, characteristics and functions at the start of the treatment system. In the same way, this project compared the quality of the water both at the entrance of the plant and at the exit according to Resolution 0631 of 2015, which talks about "the maximum permissible limits in discharges for domestic wastewater and non-domestic wastewater" , from four composite samples taken by the laboratory TECNOAMBIENTAL SAS certified by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM) and finally a start-up and commissioning manual was built taking into account all the generalities observed and analyzed .

As result, the quality of the equipment and units was determined as new and of the latest technology, allowing the maximum performance of the WWTP to be achieved, therefore, and according to the concepts issued by the water laboratory from the samplings carried out in the different points of treatment, the removal efficiency of the plant exceeded 80% fulfilling its purpose and being below the parameters established by Colombian regulations.

Key Words: WWTP, wastewater, treatments, domestic waste water, discharges.

Introducción

La calidad del agua es un indicador limitante en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico y a su vez lo restringe. El uso desproporcional demandado tiene como consecuencia el aumento de los residuos líquidos, las cuales, sin un adecuado tratamiento en sus fases de recolección, evacuación a cuerpos receptores se deteriorarán, generando así problemas de disponibilidad del recurso hídrico. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004)

Los cuerpos hídricos son utilizados como sitio de disposición final de vertimientos de actividades generadoras de residuos líquidos tanto industriales como domiciliarias. La carga de materia orgánica generada por las actividades domésticas en Colombia en 1999 fue de 482.193 ton/día (1321 ton/día) medida como demanda biológica de oxígeno (DBO), de las cuales se solo se trató apenas 4%, obteniendo un vertimiento neto de 462.759 ton/día. A partir de un caudal estimado de aguas residuales generado por los centros urbanos en Colombia identifica que se están arrojando a las fuentes hídricas cerca de 67 m³/s, en donde ciudad de Bogotá representa valores por encima del 15.3 %, Antioquia el 13 %, Valle del Cauca el 9.87% y los demás departamentos del país están por debajo del 5%. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004)

El municipio de Puerto Gaitán en el departamento del Meta, ha venido implementado diferentes propuestas en el caso del tratamiento de las aguas servidas o negras del área urbana, las cuales se encuentran descargando en forma directa al río Manacacías. En años anteriores, se desarrolló un proyecto para el diseño, construcción y puesta en marcha de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) anaerobia de 60 l/s (actualmente construida), Sin embargo, a raíz de la alta oferta laboral de la industria petrolera, que se traduce en un crecimiento poblacional en las áreas de expansión, se creó nuevamente la necesidad de la construcción de una segunda etapa de la PTAR contando con un sistema de tratamiento aerobio y una capacidad de 90 l/s, con la finalidad de suplir el caudal total requerido por el municipio de 150 l/s (Camargo, 2017)

El presente proyecto se realizó en la modalidad de pasantía en la empresa VIACOM INGENIERÍA S.A.S, la cual se encargó de llevar a cabo la interventoría de obra a la construcción

de la segunda etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio de Puerto Gaitán-Meta. Este proyecto pretende ser un apoyo en la fase de evaluación del arranque y puesta en marcha de la planta, la cual tendrá una capacidad total proyectada de 150 l/s para una población igual o mayor a 73.000 usuarios con un sistema de tratamiento aerobio. Se realizará con base al diagnóstico de los equipos y unidades que la conforman, así mismo se determinará el cumplimiento de la calidad de las aguas del proceso de acuerdo con la legislación vigente y por último se elaborará el manual del arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento.

CAPITULO I. Preliminares

Planteamiento del problema

El agua es el recurso más apetecido por toda la población a nivel mundial, siendo este fundamental para la vida, para el desarrollo social y económico tanto de pequeñas como grandes sociedades, sin embargo, su inadecuado y desproporcionado uso en sectores domésticos, de industria, explotaciones mineras, agrícolas y ganaderas, termina generando contaminación debido a que la mayoría de estas aguas vertidas después de ciertos procesos trae consigo una carga contaminante elevada (Rodríguez Pimentel, 2017), afectando directamente al suelo y fuentes hídricas como lo son: lagos, acuíferos, ríos y a una mayor escala el mar, siendo este la desembocadura principal de los grandes ríos. Esto trae consigo ciertos inconvenientes porque aparte de contaminar directamente las fuentes hídricas, a su vez también afecta todos los ciclos biológicos alterándolos física y químicamente, siendo incapaces por sí mismas, de absorber y neutralizar todas aquellas cargas contaminantes vertidas, generando la pérdida de fauna y flora (Rodríguez Pimentel, 2017). La contaminación hídrica, genera además impactos sociales, ya que muchas personas subsisten y/o sobreviven gracias a las fuentes acuáticas aledañas, que, al momento de verse contaminadas, inmediatamente se vuelven vehículos propagadores de enfermedades, por consiguiente, son las principalmente afectadas. (Matan Aranda, 2017)

Colombia cuenta con una capacidad hídrica 6 veces superior a la oferta mundial, sin embargo, el 80% de las actividades económicas presentes en el país no cuentan con el tratamiento adecuado del recurso hídrico (IDEAM, 2018). El país presenta déficit en cuanto al tratamiento de aguas

residuales, desde su recolección hasta su disposición final, generando aspectos negativos ambientales y a la salud pública (Ramírez, 2016).

La legislación colombiana cuenta con un amplio historial en cuanto al tema de saneamiento básico, desde el Plan Nacional de Manejo de Aguas Residuales Municipales el cual es directamente supervisado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, hasta el Plan Nacional de Desarrollo ejercido por el presidente el cual cuenta con índices específicos sobre el manejo ambiental frente al tema de las aguas residuales, y normativas como la Resolución 0631 de 2015. Sin embargo, se presentan irregularidades en el cumplimiento de las mismas (Ramírez, 2016).

En el caso de Puerto Gaitán su desarrollo en materia al saneamiento básico va conjunto al plan de desarrollo municipal el cual lleva consigo el plan de ordenamiento territorial POT y el plan de gobierno de la administración actual (Municipio de Puerto Gaitán - Meta, 2020). Uno de los principales problemas del municipio son las aguas residuales domésticas debido a la alta oferta laboral de la industria petrolera que se traduce en un incremento de población en las áreas de expansión. (Camargo Puerto, 2017). Puerto Gaitán - Meta, cuenta con una totalidad de 20.659 habitantes según el último censo realizado (DANE, 2018) unas de sus principales actividades económicas son la ganadería y la agricultura con la siembra de maíz, arroz, soya, caña de azúcar y plátano, pero la fuente de ingreso más destacada se encuentra en el sector de los hidrocarburos (Petróleo), a nivel nacional es conocido por el campo Rubiales, que genera al día una cantidad de 135.000 mil barriles de petróleo, siendo este el mayor pozo productor del país. (Herrera Ariza, 2009) .

En el 2015 surgió la necesidad de construir una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) con un sistema anaerobio con el fin de evitar la presencia de vectores que propagan enfermedades, malos olores y generan problemas con la comunidad, contando con una capacidad máxima de caudal de 60 l/s, y buscando controlar la contaminación directa causada al río Manacacias. Sin embargo, en el municipio de Puerto Gaitán actualmente se están ejecutando varios desarrollos de vivienda e infraestructura; todos estos nuevos asentamientos urbanos generaran una emergencia sanitaria inminente, por lo que la capacidad total proyectada y requerida del sistema de tratamiento de aguas residuales aumentara a 150 l/s (Manjarrez, 2017), por tanto, desde la alcaldía municipal

se decidió contratar una empresa que solventara la necesidad de tratamiento de agua del municipio, a partir de la construcción de una nueva etapa de la PTAR con una capacidad de caudal de 90 l/s, lo que lleva a dar solución a la siguiente pregunta ¿Como realizar la evaluación de la segunda etapa del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán con una capacidad de 90 L/s, mediante el diagnostico de unidades, calidad de aguas y manual de operación de la planta.?

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el arranque y puesta en marcha de la planta de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Puerto Gaitán.

Objetivos Específicos

- Diagnosticar los equipos y unidades que conforman la segunda etapa de la PTAR.
- Determinar el cumplimiento de la calidad de las aguas del proceso de tratamiento de acuerdo con la legislación vigente.
- Elaborar el manual del proceso de arranque y puesta en marcha de la PTAR

Justificación

El agua residual doméstica o sanitaria es aquella que se origina en los dispositivos sanitarios de las instalaciones residenciales, por lo tanto, la provisión de un alcantarillado para un área requiere de un diseño cuidadoso (Camargo Puerto, 2017).

El actual sistema de alcantarillado sanitario recoge y transporta las aguas servidas generadas por la población ubicada en el casco urbano municipal de Puerto Gaitán, y las dispone a través de

un conector continuo a la PTAR existente, la cual no efectúa el tratamiento adecuado de las aguas residuales que llegan a esta, debido a problemas en su concepción, construcción y operación, removiendo de forma ineficiente las arenas y basuras. Las aguas servidas que llegan a la planta son bombeadas hacia el río Manacacias, sin realizar un tratamiento significativo, las cuales son vertidas directamente al cuerpo hídrico, generando malos olores, deposición de sólidos, la presencia de vectores de enfermedades y de aves de carroña. (Camargo Puerto, 2017)

El municipio de Puerto Gaitán genera la necesidad de la construcción de la segunda etapa de la planta, ya que, a partir de recursos de regalías, se ha podido ir avanzando en las obras e identificando los problemas de índole ambiental y de salud pública relacionados directamente con las ARD, los cuales tienen solución, por medio de la construcción de un sistema de tratamiento complementario para las aguas residuales, para atender y/o subsanar el déficit existente, y que permita la operación en paralelo de ambos sistemas de tratamiento (existente y complementario).

A partir de un estudio previo basado en la necesidad ya mencionada, el municipio de Puerto Gaitán saco a concurso la licitación para la obra la cual fue adjudicada al consorcio PTAR GAITAN 2018. De igual manera se realizó un concurso de méritos para la interventoría de la obra en mención la cual fue adjudicada al consorcio INGEVICOM PTAR para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR segunda Etapa para la zona urbana del municipio de Puerto Gaitán-Meta.

La empresa VIACOM INGENIERÍA SAS hace parte integral del consorcio INGEVICOM PTAR. Para lo cual la empresa buscó el apoyo académico de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio generando un convenio; con el fin de que los estudiantes aporten su conocimiento técnico y ambiental al proyecto. Por lo tanto, este proyecto pretende realizar el acompañamiento a la empresa a partir de tres fases planteadas, buscando analizar el diagnóstico de unidades y equipos, el cumplimiento de la calidad de las aguas respecto a la normatividad y la adecuada ejecución del sistema de tratamiento de aguas de la mano de un manual de operación del arranque.

Por consiguiente, cabe resaltar la importancia de este tipo de estudios dado que a partir de la adecuada supervisión al momento del arranqué y la puesta en marcha de la PTAR dependerá la eficiencia de todos sus procesos operativos tanto como tratamiento preliminar como secundario, y

de que todo se esté realizando bajo todos los parámetros establecidos por la respectiva normatividad y así mismo demostrar resultados positivos en cuanto a la remoción de contaminantes de la planta. (Municipio de Puerto Gaitán - Meta, 2020).

Alcance

El proyecto “Evaluación del Arranque y Puesta en Marcha del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales” se realizó en la PTAR construida en el Municipio de Puerto Gaitán-Meta, como se puede ver en la **Figura 1**, ubicada en las coordenadas geográficas $3^{\circ} - 05'$ y $4^{\circ} 08'$ Lat norte, y $71^{\circ} - 05'$ y $72^{\circ}-30'$ Oriente. Dicho proyecto se localiza en el sector Corpomecave aledaño a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales existente, en un área de 2 hectáreas, alejada de los futuros desarrollos urbanos y rodeada de zonas verdes de amortiguamiento que permiten mitigar los olores, como se puede observar en la **Figura 2**.

El proyecto de construcción de la PTAR segunda etapa, está proyectado para una población de 41.818 habitantes con una vida útil de 25 años según la (Resolución 0330/2017), cumpliendo con la principal función de tratar las aguas residuales domésticas emitidas de todos los barrios del municipio, además, mitigando de manera directa los impactos negativos inherentes a la descarga de aguas residuales al cuerpo de agua receptor, asegurando el cumplimiento de la norma de vertimientos actual (Resolución 0631/2015).

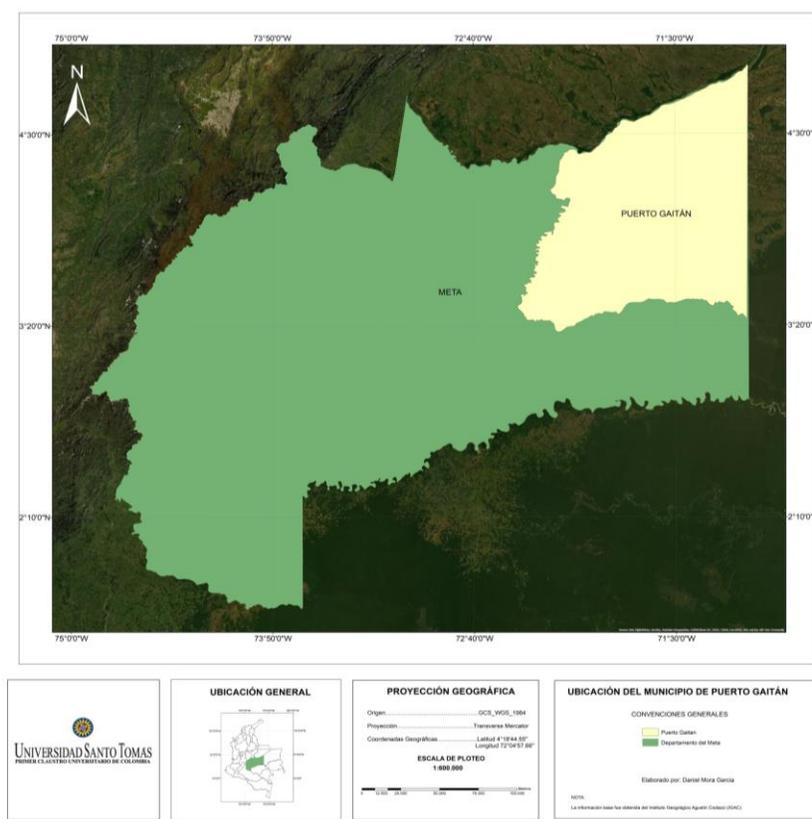


Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Puerto Gaitán- Meta. Adaptado de Arcgis 10.5 Por Mora, 2020.

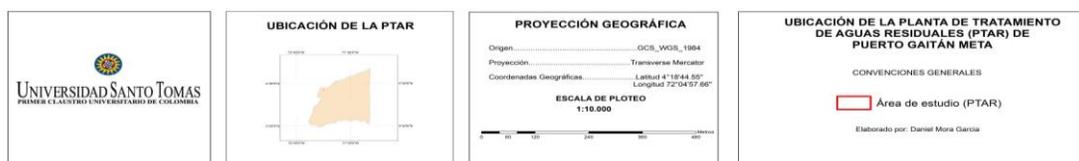


Figura 2. Ubicación geoespacial de la planta de tratamiento de aguas residuales construida en el municipio de Puerto Gaitán. Adaptado de Arcgis 10.5. Por Mora, 2020.

CAPITULO II. Antecedentes

Para el desarrollo de la propuesta, se tuvo en cuenta proyectos similares con el fin de abordar una mayor y/o mejor información al proyecto planteado, además se agrega una línea de tiempo, como se puede ver en la **Figura 3**.

El tratamiento de las aguas residuales es de suma importancia para la salud pública y del medio ambiente, por lo tanto, si dichas son dispuestas en fuentes receptoras tales como mares, ríos o lagos deberán ser entregadas con la mínima cantidad de carga contaminante según la normatividad

vigente, por lo cual dependerá de la eficiencia de remoción en los procesos internos presentes en la (PTAR), comprendiendo el arranque y la puesta en marcha del sistema.

En el año 2002 en la ciudad de Pretoria – South África. En una empresa de destilería se creó la necesidad de llevar a cabo el proceso del diagnóstico del arranque y puesta en marcha de la segunda etapa de una PTAR ya construida, esta destilería de vinos descarga una carga contaminante de DQO alrededor de 20.000 a 30.000 mg/l, y pH de 3 y 4, de tal forma con la implementación de la nueva planta sus niveles de remoción aumentaron a valores por encima de 90 % obteniendo como resultados favorables nuevos valores de DQO entre 4 y 8 mg/l (wolmarans & De Villiers, 2002).

En el año 2003, en la ciudad de Cali Valle del Cauca – Colombia, la empresa de servicios públicos EMCALI genero la necesidad para construcción del mega proyecto PTAR CAÑAVERALEJO, realizando el arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento de agua con la finalidad de subsanar el impacto negativo causado al río Cauca (Brault, 2018).

En el año 2006, en la localidad Las Canoas, situado en el estado de Aguas Calientes México, se creó la necesidad de la construcción de la planta de tratamiento para aguas residuales domesticas (ARD) con una capacidad de caudal de 50 l/s, debido al alto crecimiento poblacional y a las actividades agropecuarias realizadas en la zona, generando impactos negativos al medio ambiente como a la salud pública, de igual forma contaminando las fuentes hídricas aledañas como lo son los ríos Chicalote y San Pedro. (Manejo Ambiental y Planeación Ecológica (MAPLE), 2006).

En el año 2006, en el municipio de Guasca Cundinamarca Colombia, se creó la necesidad de la construcción de la planta de tratamiento de agua residual para el municipio dado a la alta contaminación emitida al río Siecha, por parte de la gente del sector, arrojando basuras como: plásticos, escombros, entre otros, sin medir las consecuencias de estos actos afectan de manera indirecta a los ecosistemas que rodean el río (Bermudez & Carillo, 2019).

En el año 2007 en la ciudad de Mérida, del estado de Yucatán México, se realizó la construcción y operación de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, del fraccionamiento “Fidel Velázquez”. Se pretendió mejorar el sistema de tratamiento de aguas con equipos nuevos y de un

tipo de tecnología más avanzada, además mejorar la eficiencia de la planta en su totalidad, los procesos que se analizaran desde su arranque y puesta en marcha en la PTAR serán aerobios con base en un reactor de lodos activados en su modalidad de aireación extendida así mismo el proceso contempla la remoción de nitrógeno y fósforo, con una capacidad orgánica afluente de 200 mg/l DBO₅ (Bufete de Ingeniería de Yucatán S.A, 2007).

En el municipio Villa del Rosario (Norte de Santander)-Colombia, en el año 2009 se realizó el arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuales de un frigorífico “La Frontera LTDA.” con la finalidad de estudiar la calidad de afluentes, efluentes y lodos para la remoción. (Pabon & Suárez Gélvez, 2008)

En el caso de la ciudad de Bogotá Colombia en el año 2000 debido a la densa población se concibió el proyecto para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales SALITRE, a la cual, de igual forma se le realizó su respectiva evaluación del arranque y puesta en marcha, con el fin de comprobar el óptimo desarrollo de la planta. Actualmente el megaproyecto PTAR salitre es uno de los más ambiciosos en el país recibiendo una capacidad de 7.0 m³ de agua por segundo removiendo y evitando que lleguen al río Bogotá un promedio de 450 toneladas mensuales de basura (ACODAL, 2000). Nuevamente en la ciudad de Bogotá Colombia en el año 2015 se creó la propuesta para el arranque y puesta en marcha de una PTAR, para la Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova buscando realizar un adecuado seguimiento a todos los procesos de la planta, a partir de esto se determinó que la planta de tratamiento de agua residual se encontraba en malas condiciones debido a la falta de conocimiento del personal presente en la escuela de cadetes, haciéndola ineficiente, por consiguiente se creó esta propuesta, con el fin de realizar un acompañamiento directo al nuevo arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento, identificando la importancia de un adecuado diagnóstico de equipos, caracterización de aguas a la salida de la PTAR, e incluyendo un manual de procesos (Molina & Gomez, 2015).

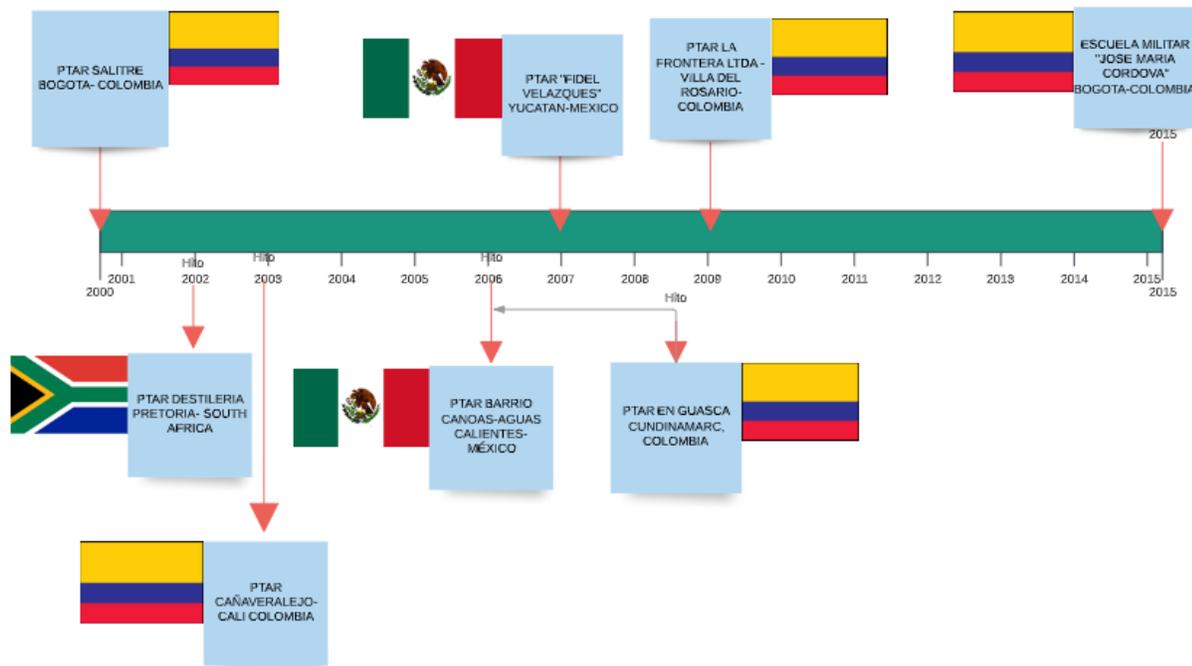


Figura 3. Línea del tiempo de construcción de PTARs según año. Adaptado de Mora, 2020.

CAPITULO III. Marco referencial

3.1. Marco Teórico

El tratamiento de aguas residuales se ha convertido de suma importancia a la hora de hablar de la disminución y control sobre la contaminación de los cuerpos de agua, para esto normalmente se diseñan sistemas especializados para cada tipo de agua residual a tratar, todo esto de la mano de obras de infraestructura, el éxito de esto también dependerá y recaerá en el personal capacitado quien cumplirá las funciones y/o labores de operación y mantenimiento (Carrion Villacis, 2010).

El agua desde siempre se ha convertido en un recurso vital y por ende el más utilizado, de tal forma siempre es el principal afectado a raíz de la contaminación, ya que un mayor suministro de agua significa una mayor carga de aguas residuales (Félez Santafé, 2009).

Las descargas de las aguas residuales municipales son el principal dolor de cabeza de los entes reguladores ambientales convirtiéndose en uno de los problemas ambientales más críticos y más crecientes, considerando el incremento poblacional de la mayoría de los centros urbanos medianos y grandes es notable debido a la situación socioeconómica y de orden público del país (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

3.1.1. Aguas Residuales Domesticas

Las aguas residuales domésticas son aguas de remanentes provenientes de sistemas de alcantarillado, que contienen aguas de inodoros, cocinas, duchas y lavanderías. De acuerdo al Artículo 0631 de 2015, en su Anexo 2, se puede determinar las actividades concernientes a cada tipo de agua residual de acuerdo a su vertimiento. (Metcalf & Eddy, 1985)

3.1.2. Características de las Aguas Residuales

Las aguas residuales tienen varios factores los cuales sirven para poder clasificarlas entre estos se encuentran, el color, olor, turbiedad, DBO, DQO, pH y Temperatura, estas también presentan componentes microbiológicos como agentes patógenos de origen humano, presentes en el excremento tales como: coliformes totales, coliformes fecales, *Salmonella*, *Escherichia coli* (E-Coli) (Metcalf & Eddy, 1997), de igual manera se observan sólidos flotantes de gran tamaño (materia fecal, papel, desperdicios de cocina, etc.) y sólidos desintegrados de menor tamaño, su aspecto turbio es debido a la presencia de sólidos muy pequeños en suspensión coloidal. La turbiedad del agua residual se mide por el grado de transparencia y presenta una estrecha relación con el contenido de material contaminante (Fibras y Normas de Colombia S.A.S., 2018).

3.1.3. Composición de las Aguas Residuales

Las aguas residuales consisten de agua, materia orgánica sólidos suspendidos y disueltos la cantidad de sólidos y sus tamaños dependerá de donde provenga, en el caso de las aguas residuales domesticas los sólidos no superan los 4 cm debido a que se van degradando con el paso del agua, como papel higiénico, restantes de comida, entre otros, los cuales tendrán como disposición final el sitio de descarga y deberá ser removida por tratamiento y disposición adecuada. (Metcalf & Eddy, 1997)

3.1.4. Tratamiento de las Aguas Residuales

El tratamiento de aguas residuales podrá ser de tipo primario, secundario o terciario esto dependerá de la clase de contaminante a tratar y de tecnología implementada ya sea aerobia o anaerobia, estos sistemas consisten en una serie de procesos físico - químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua que se va tratar y poder hacer la descarga con un porcentaje eficiente y acorde a las normas ambientales. El objetivo del tratamiento es entregar agua limpia ya tratada con múltiples usos, además los lodos provenientes de los procesos llegan a ser reutilizables como uso en abonos existen sistemas de tratamiento aerobios donde en sus procesos interactúa el oxígeno siendo indispensable a diferencia del anaerobio estos presentan mejores tiempos de retención y están los anaerobios los que no utilizan oxígeno, convierten la biomasa utilizada en biogás y a diferencia el aerobio produce 3 veces menos lodos y ofrece un mejor % de remoción de contaminantes. (Metcalf & Eddy, 1997)

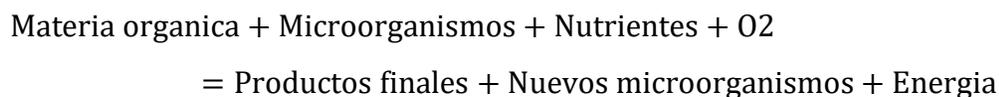
3.1.5. Plantas de Tratamiento de Agua Residual Aerobias

Las plantas de tratamiento de agua residual aerobias se componen principalmente por pretratamiento, tratamiento primario, secundario y por último terciario, donde la función principal es aprovechar la capacidad que tienen los microorganismos en adaptarse a la materia orgánica y nutrientes como nitrógeno y fosforo disueltos en el agua residual en presencia de oxígeno (Metcalf & Eddy, 1997), existen varios sistemas los cuales se emplean para el crecimiento de manera exponencial de la biomasa en los sistemas aerobios entre estos están:

- Biomasa en suspensión (Lodos Activados): La biomasa crece libre en el interior del reactor permitiendo la creación de flóculos, contiene procesos muy similares a los producidos por los reactores tipo MBR.
- Biomasa fija: Esta se caracteriza porque crece adherida a un soporte natural o artificial formando una capa o película. Un ejemplo mas claro de estos son los filtros percoladores los cuales a partir de un proceso de decantación sobre los filtros o rosetones comúnmente llamados absorben la biomasa para así degradar la materia orgánica.

3.1.5.1. Procesos de oxidación biológica

Los procesos de oxidación biológica son mecanismos mediante los cuales los microorganismos degradan la materia orgánica presente en el agua residual, así mismo dichos microorganismos se alimentan de los nutrientes orgánicos presentes en el agua residual según la siguiente ecuación:



Esto sucede en presencia de tres reacciones fundamentales, de síntesis, de respiración endógena u oxidación y de respiración oxidativa, las reacciones de síntesis o asimilación tienen como función la incorporación de nutrientes a los microorganismos, la reproducción de estos microorganismos es directamente proporcional a la cantidad de nutrientes que se incorporan en ellos.

Las reacciones de respiración endógena u oxidación consisten en la transformación de la materia orgánica asimilada y la acumulada en forma de sustancias de reserva de gases y agua, de esta manera al unir el agua residual con los microorganismos, estos metabolizan su propio material celular ocurriendo una destrucción de sus células, generando la sucesión de nuevas especies y haciendo que la materia orgánica presente en el agua disminuye notablemente (Metcalf & Eddy, 1985).

3.2. Marco Conceptual

Las aguas residuales se suelen clasificar debido al uso que se les ha dado antes y de donde provienen; las de uso doméstico, como lavanderías, duchas, cocinas que no contienen heces fecales, se conocen como aguas servidas; las aguas negras provienen de los inodoros de los baños y otros que contienen heces fecales; la combinación de estas dos juntas es conocida como residuales domesticas ya que provienen de todos los procesos internos de un hogar, estas pueden llegar a producir alteraciones a la salud humana si no se les realiza un adecuado tratamiento; Por otro lado existen otro tipo de aguas con un grado de toxicidad y de rango de problema mayor, las cuales son las aguas industriales provenientes de fábricas, minerías y otros, como las de mataderos, industrias lecheras e industrias agrícolas, también provenientes de los hospitales o centros de salud, contienen microorganismos que causan enfermedades y son altamente contaminantes, estas no deben ingresar al sistema de alcantarillado sanitario y deben ser dispuestas de forma independiente, por su alto poder de contaminación. Mediante una planta de tratamiento de agua residual, PTAR, el tratamiento de aguas residuales es un proceso complejo, exige y depende un importante esfuerzo para la determinación de las causas de la depuración de contaminantes, para esto se realizan fichas de caracterización de las aguas residuales. a partir de diversas mediciones físicas, químicas y biológicas, incluyendo la determinación del contenido de sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y el pH (Crites-Tchobanoglus, 2000).

Tomando en cuenta que el conjunto de cambios ocurridos en el proceso de tratamiento de la PTAR, desde su arranque hasta obtener condiciones de poca variabilidad u operación normal, es el tiempo de estabilización, dependiendo del caudal de descarga, o afluente que ingresa a al proceso de tratamiento de agua. Después de un proceso anaerobio, donde se utilizan microorganismos que emplean el oxígeno contenido en la materia orgánica para respirar, o un proceso aerobio, que utiliza microorganismos que requieren oxígeno para vivir y desarrollarse, de tratamiento de agua, el agua resultante del tratamiento de depuración, que pueden o no cumplir con las normas que apliquen, se llama Agua Tratada; la cual va a un cuerpo receptor, los cuales son depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan las aguas tratadas, tomando en cuenta el efluente final de la PTAR, que debe ajustarse a los límites máximos permitidos dados por las normas aplicables, que son el conjunto de parámetros fisicoquímicos y

biológicos correspondientes a sus límites máximos permisibles en las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores o sistemas de alcantarillados fijados por la autoridad competente a fin de proteger el medio ambiente (Crites-Tchobanoglus, 2000).

Es importante el manejo adecuado de los lixiviados generados en el tratamiento del agua, el cual es el líquido producto de los residuos, formados por reacción, arrastre o percolación que contiene contaminantes disueltos o en suspensión; de acuerdo al límite máximo permisible, que es el rango asignado para descargas de aguas o lodos residuales, se hace el manejo de lodos y tomando en cuenta la atracción de vectores, (características de los lodos para atraer vectores como roedores, moscas u otros, capaces de transportar agentes infecciosos), para evitar que la mezcla de sólidos suspendidos que consta de material inerte y viviente microscópico en un medio acuoso o húmedo, afecte el entorno en el cual son almacenados o generen malos olores, mediante la estabilización de lodos, la cual es la reducción biológica del contenido de materia volátil; la oxidación química de la materia volátil; la adición de agentes químicos para hacer que el lodo no sea adecuado para la supervivencia de microorganismos; y la aplicación de calor para la desinfección o esterilización del lodo. (Crites-Tchobanoglus, 2000)

3.3. Marco Legal

La información presentada a continuación (Tabla 1.), refleja la normatividad en el ámbito nacional y regional frente a la evaluación y el dimensionamiento de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales hasta la definición de los límites máximos permisibles para la descarga de ARD en fuentes superficiales.

Tabla 1. *Normatividad Nacional*

NORMA	ART.	DESCRIPCIÓN
Decreto - Ley 2811 de 1974	78	Para garantizar el control de calidad de bienes y servicios ofrecidos y prestados a la comunidad.
	79	Garantizar el derecho a gozar de un ambiente sano, protegiendo la diversidad e integridad del ambiente

Constitución Política de Colombia “De los derechos colectivos y del ambiente”	80 82	Tendrá por objeto la adecuada planificación, el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución velara por la protección de la integridad del espacio público y a su vez las entidades públicas participarán en la plusvalía que genere su acción urbanística y regularán la utilización del suelo y del espacio aéreo urbano en defensa del interés común.
Código Colombiano de Recursos Naturales Decreto 2811 de 1974	2	Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguren el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de éstos y la máxima participación social, para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio nacional.
Decreto 1541 de 1978	1	Este tiene por finalidad reglamentar las normas relacionadas con el recurso agua en todos sus estados
Ley 9 de 1979	3	Por la cual se determinará el control sanitario de los usos del agua según su procedencia.
Decreto 1594 de 1984	38	Por el cual se dictan los valores admisibles para la destinación del recurso humano y domestico
Ley 9 de 1993	2	Por el cual se crea el Ministerio de Ambiente como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de impulsar una relación de respeto y armonía del hombre con la naturaleza a partir de la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones
Ley 142 de 1994	2	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones
Decreto 3930 de 2010	4	Por el cual se reglamentan los usos del agua, residuos líquidos y otras disposiciones
Resolución 0631 de 2015	8	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los

		sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones
Resolución 0330 de 2017	5	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS

Nota: Normatividad colombiana referente a la protección, conservación, calidad y control sanitario sobre el vertimiento de aguas residuales domesticas a fuentes hídricas naturales, adaptado de “Decreto Ley 2811 de 1974”, “Decreto 1541 de 1978”, “Ley 9 de 1979”, “Decreto 1594 de 1984”, Ley 9 de 1993”, “Ley 142 de 1994”, “Decreto 3930 de 2010”, “Resolución 0631 de 2015” & “resolución 0330 de 2017”; por Mora, 2020.

CAPITULO IV. Metodología

El presente proyecto corresponde a un estudio practico el cual se basa en una serie de fases para su desarrollo, comprendiendo actividades específicas tales como: diagnóstico de los equipos y unidades que conforman la planta, análisis de parámetros, comparación de los mismos con la normatividad vigente, y por último la elaboración de un manual de operación del arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento, en la PTAR construida en el municipio de Puerto Gaitán

Diagrama metodológico

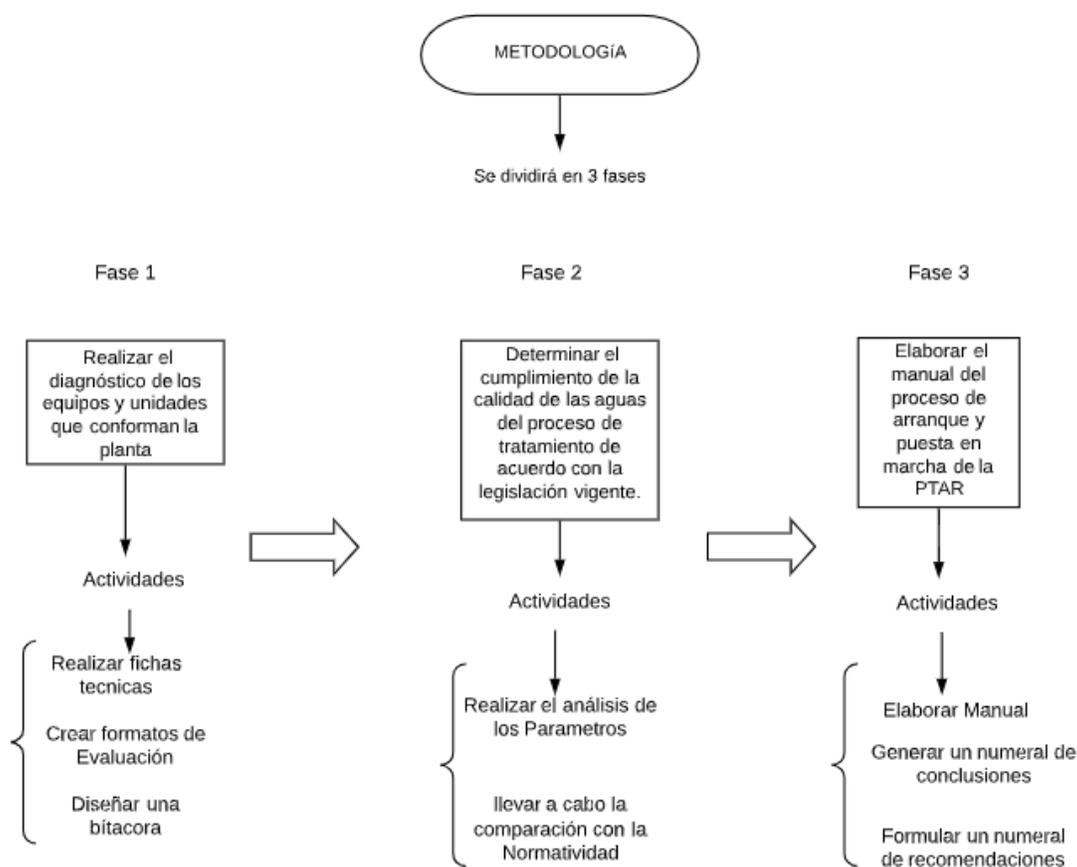


Figura 4. Diagrama metodológico. Adaptado de Mora, 2020.

Fases metodológicas

Fase 1. Diagnóstico de equipos y unidades que conforman la segunda etapa de la planta

Esta fase pretende identificar el diagnóstico de los 16 componentes presentes en la segunda etapa de la PTAR entre ellos equipos y unidades, **(Figura 5)** a partir de la creación de unas fichas técnicas, las cuales contienen toda la información respecto a parámetros de diseño, funcionamiento y la operación de cada uno. De igual forma se añade a las fichas un formato de evaluación el cual tiene como función establecer y determinar tanto el uso como el estado actual, además se lleva a cabo una bitácora para realizar el seguimiento fase a fase, y ya por último estas se comparan y se analizan respecto a la Resolución 0330 de 2017 determinando su cumplimiento frente a la normatividad vigente.

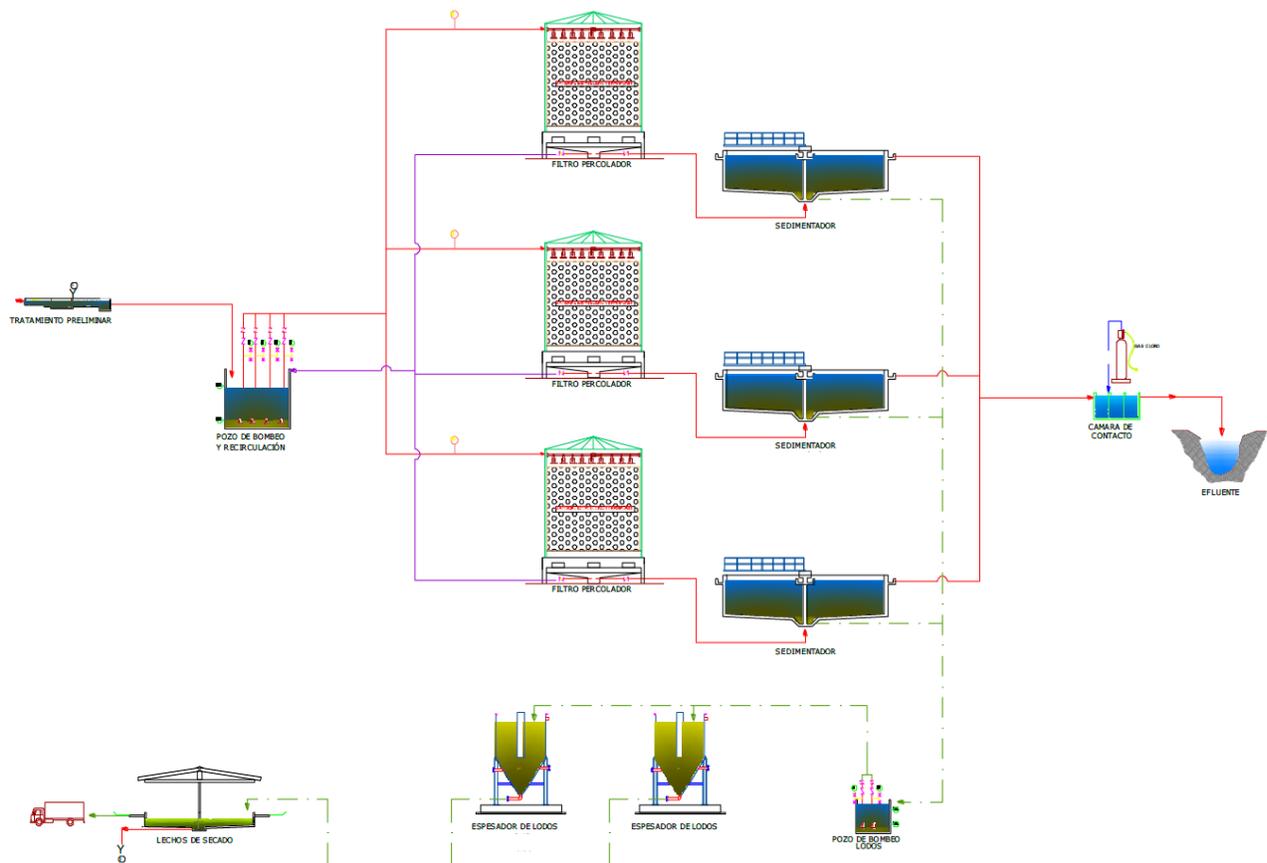


Figura 5. Unidades y equipos que conforman la segunda etapa de la PTAR. Adaptado de Mora, 2020.

Fase 2. Análisis y comparación de la calidad de las aguas del proceso de tratamiento de acuerdo con la legislación vigente.

Los contaminantes en las aguas residuales son habitualmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Normalmente no es ni práctico ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de las aguas residuales (Muñoz, 2008).

Esta fase tiene como fin determinar el cumplimiento de la calidad de las aguas provenientes de la PTAR, según la Resolución (0631 de 2015) la cual establece los valores y límites máximos permisibles, para esto se tiene en cuenta los resultados obtenidos por parte del laboratorio certificado **TECNOAMBIENTAL S.A.S** de la ciudad de Villavicencio – Meta, el cual tiene como función la toma de cuatro (4) muestras durante un (1) día en dos puntos de la planta: entrada del tratamiento preliminar y salida, a la par del mes de mayo, para el arranque y puesta en marcha de la planta. Estos resultados se analizan y se comparan para garantizar el cumplimiento a la normatividad y por ende la óptima remoción de contaminantes por parte de la planta al efluente.

Tabla 2. *Parámetros y valores de límites máximos permisibles en vertimientos de aguas puntuales, con métodos e instrumentos implementados por TECNOAMBIENTAL S.A.S.*

PARÁMETRO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE	METODO	INSTRUMENTO
pH	6,0 – 9,0	Electrométrico	Multiparámetro Hanna
DQO	150	Nanocolor (Colorimétrico)	Tubos de ensayo
DBO5	70	Incubación por 5 días	Botella Velp
Solidos suspendidos totales	70	Gravimétrico	Horno digital, Balanza analítica y Bomba de Vacío
Solidos sedimentables	5	Diferencia de pesos	Conos Imhoff
Grasas y aceites	10	método SOXHLET	Extractor Soxhlet BÜCHI B-810.

Nota: límites máximos permisibles para aguas residuales domesticas con carga mayor o igual a 3.000 Kg/día DBO5, con métodos e instrumentos implementados por el laboratorio de aguas. Adaptado de “Resolución 0631 de 2015”; por Mora, 2020.

Fase 3. Manual del proceso de arranque y puesta en marcha de la PTAR

Con base al diagnóstico del sistema y teniendo en cuenta los equipos y unidades de operación, se crea un manual para el proceso de arranque y puesta en marcha de la planta, a partir de la descripción detallada de cada uno de los procesos presentes, se incluyen las fichas técnicas de los equipos que componen la PTAR con los formatos de evaluación, así mismo se asume el mantenimiento preventivo para cada uno, los posibles fallos, la correcta operación de las unidades y las especificaciones técnicas que apliquen, así como las advertencias de uso, siendo esto sumamente importante para llevar a cabo la correcta y adecuada puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio.

CAPITULO V. Resultados y análisis

1. Diagnóstico de unidades y equipos de la planta.

En el momento de la construcción de la segunda etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán-Meta, se crearon unas fichas técnicas siguiendo la metodología planteada, en las cuales se plasmó el diagnóstico de todos los equipos y unidades, determinando el estado, funcionamiento, datos técnicos, dimensiones y materiales de construcción, sirviendo a su vez como formatos de evaluación.

La PTAR cuenta con un sistema de tratamiento aerobio con un tratamiento preliminar convencional, seguido de un tratamiento secundario más específico como lo es, el uso de filtros percoladores, los cuales consisten de un lecho de material grueso, compuesto por materiales sintéticos de diversas formas, sobre el cual son aplicadas las aguas residuales en forma pareja. En la superficie del medio percolador se encuentra adherida una población bacteriana en forma de película delgada, que descompone la materia orgánica de las aguas residuales, a medida que estas percolan hacia el fondo del tanque. Transcurrido cierto tiempo, la capa bacteriana adquiere un gran espesor y se desprende, por la fuerza hidráulica, del medio filtrante, hasta su sedimentación en un clarificador secundario en forma de lodo.

Fichas Técnicas

1.1. Tratamiento Preliminar

Tabla 3. *Tratamiento Preliminar de la segunda etapa de la PTAR.*

#	Equipos y Unidades	Estado			Cantidad	Ficha Técnica
		Nuevo	Deteriorado	Malo		
1	Cámara de alivio de caudales	x			Una (1) unidad	Apéndice B
2	Estación elevadora de aguas residuales	x			Una (1) unidad	Apéndice C
3	Canales de desbaste y desarenado	x			Dos (2) unidades	Apéndice D
4	Rejillas de retención de sólidos	x			Dos (2) unidades	Apéndice E
5	Canaleta Parshall	x			Una (1) unidad	Apéndice F
6	Pozo de bombeo de recirculación	x			Una (1) unidad	Apéndice G. <i>Pozo de bombeo y recirculación. Adaptado de; Mora, 2020.</i>
7	Bombas sumergibles para bombeo de agua cruda	x			Cuatro (4) unidades	Apéndice H

Nota: En esta tabla se puede apreciar los siete (7) módulos (Apéndices A, B, C, D, E, F, G) presentes en el tratamiento preliminar de la segunda etapa de la planta. Adaptado de; Mora, 2020

1.2. Tratamiento Secundario

Tabla 4. *Tratamiento Secundario de la segunda etapa de la PTAR*

#	Equipos y Unidades	Estado	Cantidad
---	--------------------	--------	----------

		Nuevo	Deteriorado	Malo		Ficha Técnica
8	Filtros percoladores	x			Dos (2) unidades	Apéndice I
9	Cámara de distribución de caudales	x			Dos (2) unidades	Apéndice J
10	Sedimentadores secundarios	x			Dos (2) unidades	Apéndice K
11	Pozo de bombeo para lodos	x			Una (1) unidad	Apéndice L
12	Bombas sumergibles para bombeo de lodos	x			Dos (2) unidades	Apéndice M
13	Espesadores de lodos	x			Dos (2) unidades	Apéndice N
14	Lecho de secado para lodos	x			Veinticuatro (4) unidades	Apéndice O

Nota: En esta tabla se puede apreciar los siguientes siete (7) módulos (Apéndices H, I, J, L, M, N) presentes en el tratamiento secundario de la segunda etapa de la PTAR. Adaptado por; Mora. 2020.

1.3. Operación y control

Tabla 5. Equipos complementarios de la segunda etapa de la PTAR.

#	Equipos y Unidades	Estado			Cantidad	Ficha Técnica
		Nuevo	Deteriorado	Malo		
15	Caseta de operación y control	x			Dos (2) unidades	Apéndice P
16	Sistema eléctrico	x			Dos (2) unidades	Apéndice Q

Nota: En esta tabla se puede apreciar los dos (2) módulos complementarios e indispensables para el funcionamiento de la segunda etapa de la PTAR. (Apéndices O, P). Adaptado por; Mora. 2020

A partir de los resultados obtenidos de las fichas técnicas del tratamiento preliminar y secundario de la PTAR se identificaron los parámetros de diseño para la construcción de equipos y unidades; Las rejillas para la retención de sólidos son medias, dado que distan entre sí de a 3 cm, soportando una velocidad de aproximación del canal de 0,38 m/s, por otro lado, en el proceso de desbaste y desarenado se construyeron dos canales en concreto reforzado cada uno capaz de soportar el caudal de diseño para que trabajen de manera alterna y uno de ellos permanezca en condición de limpieza, de igual forma cuenta con unas canastas permitiendo la extracción de arenas y lodo para así mantener velocidades constantes de 0,30 m/s. Con base en lo anterior la **Resolución 0330 de 2017** se determina ciertos parámetros de diseño para los sistemas de tratamiento centralizados que permitieron realizar las siguientes comparaciones para el tratamiento preliminar: El **Artículo 186**. Estipula los requisitos mínimos para la implementación de rejillas para la retención de sólidos, para rejillas medias sus barrotes deberán tener espacios entre sí de 2 a 4 cm, con una velocidad máxima de aproximación de 1,2 m/s para caudal máximo y de 0,3 m/s para caudal mínimo, requisitos de diseño que coinciden con los resultados obtenidos en las fichas técnicas, de igual forma el **Artículo 188**. Estipula los requisitos mínimos de diseño para desarenadores, exige construir un mínimo de dos unidades. Cada una debe soportar el caudal de diseño por si la otra se encuentra en limpieza, también deberá mantener una velocidad horizontal constante de 0,30 m/s, requisitos de diseño que coinciden con los resultados obtenidos en las fichas técnicas.

En cuanto al tratamiento secundario, se construyeron dos (2) filtros percoladores cilíndricos bajo los siguientes parámetros de diseño: concreto reforzado impermeabilizado de 4.000 psi con un medio filtrante en plástico catalogado de alta tasa común mente llamados rosetones con porcentajes 70/95 de remoción de DBO₅, una altura de 6,7, un diámetro de 20 m en cada tanque y distribuidores hidráulicos de 4 aspas. De igual forma que en el tratamiento preliminar la **Resolución 0330 de 2017** en el **Artículo 194**, establece los requisitos mínimos de diseño para filtros percoladores, los cuales podrán tener un máximo diámetro de 60 m con unas profundidades y/o alturas entre 1,50 y 12 m, el medio filtrante se escogerá a razón del contaminante principal a tratar. Esto valores y parámetros de diseño coinciden de manera directa con los resultados

obtenidos en las fichas técnicas. Seguido a esto se construyeron dos (2) sedimentadores circulares nuevamente en concreto reforzado impermeabilizado de 4.000 psi, con un diámetro de 18 m y una profundidad de 3,2 m, cada tanque cuenta con barredores de lodos autopropulsado bajo los requisitos mínimos de diseño establecidos por el **Artículo 195, numeral 2 y 3**. El cual estipula que a caudales mayores de 6 L/s será necesario implementar sistemas de barredores para la concentración y extracción de lodos, los diámetros de los tanques en el caso que sean circulares deberán estar comprendidos entre 3 y 45 m con profundidades entre 2,4 y 4 m, dichos valores coinciden con los resultados obtenidos en las fichas técnicas.

Se construyeron dos (2) tanques espesadores de lodos por gravedad para así almacenar lodos secundarios y/o biológicos producto del tratamiento, bajo los siguientes parámetros de diseño: lámina de acero de $\frac{1}{4}$, altura de 5,1 m con un diámetro de 2,1 m y con un volumen total de 5 m³ para cada tanque con capacidad de 43,73 Kg/m²-dia. En este caso el **Artículo 211 tabla 42**. Establece la cantidad de carga para lodos secundarios de filtro biológico entre 40 y 50 Kg/m²-dia, coincidiendo con los valores expresados en las fichas técnicas realizadas. Y por ultimo se construye la caseta de operación y control, en la cual se encuentra la sub estación que alimenta la planta y que además esta equipada con todos los materiales, equipos y procedimientos para realizar ensayos de pH, DBO₅, DQO, SST, SSED, ST, SV, potencial redox, grasas y aceites tal cual como lo estipula textual mente el **Artículo 215**.

Cabe resaltar que la planta además cuenta equipos y unidades complementarios los cuales no fueron comparados con la Resolución 0330 de 2017 en cuanto a sus parámetros de diseño debido que estos no se encuentran reglamentados por la misma, sin embargo, fueron implementados y/o construidos a partir de las necesidades del proyecto, y de los diseños estructurales estipulados en los siguientes contratos: “Contrato de consultoría N.º 188 de 2018 estudios y diseños de la segunda etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán Meta”, y el “Contrato de Obra N.º 2010 de 2018 construcción planta de tratamiento de aguas residuales PTAR segunda etapa para la zona urbana del municipio de Puerto Gaitán Meta”, para así subsanar el déficit de tratamiento ocurrido con la primera etapa de la planta y no incurrir nuevamente en el error.

Según lo anterior se determinó que los parámetros de diseño de tanto equipos como unidades de la PTAR cumplieron la respectiva normatividad presente en la Resolución 0330 de 2017 y en sus artículos ya mencionados, por lo tanto, se consideraron equipos y unidades nuevas de última tecnología que garantizaron el óptimo funcionamiento de la planta.

2. Calidad de Las Aguas del Proceso de Tratamiento

Tal como se expresó en la metodología y con base a los resultados por parte del laboratorio certificado por el IDEAM bajo los lineamientos de la norma NTC-ISO/IEC 17025 “Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración. El laboratorio TECNOAMBIENTAL S.A.S realizó el estudio sobre la calidad de las aguas provenientes tanto entrada del tratamiento de la PTAR como la de la salida teniendo en cuenta los parámetros de diseño para lo cual fue proyectada y construida la planta, que fueron:

Tabla 6. *Parámetros para la construcción de la segunda etapa de la PTAR de Puerto Gaitán.*

Parámetro	Área Urbana
Población de diseño	41.818 habitantes
Altura promedio	149 msnm
Temperatura promedio	28 °C
Caudal de diseño	90 l/s
Concentración influente de DBO₅	250 mg O ₂ /l
Concentración influente de DQO	300 mg O ₂ /l
Concentración influente de SST	200 mg/l
Concentración influente de SSED	10 mg/l
Eficiencia remoción DBO	≥ 80%
Corriente Receptora	Río Manacacias

Nota: En esta tabla se ven expresados los parámetros para construcción de la PTAR, teniendo en cuenta una carga contaminante 3.329 kg DBO/día, analizada en el municipio de Puerto Gaitán

Meta. Adaptado de “Contrato de Consultoría N.º 188 de 2018 estudios y diseños de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán Meta”; Por Mora,2020.

Y con base a lo anterior, se adoptaron los siguientes parámetros físico-químicos y sus límites máximos permisibles para el efluente de la PTAR complementaria para Puerto Gaitán.

Tabla 7. Valores máximos permisibles en la descarga de la PTAR.

Parámetro	Unidades	Valor
pH	Unidades de pH	6,0 – 9,0
DQO	mg/l O ₂	80
DBO₅	mg/l O ₂	50
SST	mg/l	50
SSED	mg/l	5
GRASAS Y ACEITES	mg/l	10

Nota: Valores adoptados y/o proyectados en cuanto a la eficiencia de remoción de la planta del 80 %. Adaptado de “Contrato de Consultoría N.º 188 de 2018 estudios y diseños de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán Meta”; Por Mora,2020.

Con ayuda del laboratorio certificado TECNOAMBIENTAL S.A.S se obtuvieron los resultados y procedió analizarlos y/o compararlos.

Tabla 8. Resultados de la muestra No.1 de los parámetros analizados a la entrada de la PTAR.

Análisis fisicoquímico			
Parámetro	Unidad	Método	Resultado
DBO₅	mg O ₂ /L	SM 5210 B	210
DQO	mg O ₂ /L	SM 5220 C	250
GRASAS Y ACEITES	mg/L	SM 5520 C	82,2
pH	UN	SM 4500 H + B	6,62
SST	mg/L	SM 2540 D	100
SSED	mg/L	SM 2540 F	10

Nota: Resultados obtenidos mediante el monitoreo compuesto de la muestra No. 1, tomada de 5:00 A.M a 12:00 P.M sin tratamiento, del primer punto de muestreo ubicado en la caja receptora de aguas a la entrada de la PTAR. Adaptado de “TECNOAMBIENTAL S.A.S. Resultados de laboratorio de aguas, CONSORCIO INGEVICOM PTAR GAITÁN”; Por Mora, 2020.

Tabla 9. Resultados de la muestra No.2 de los parámetros analizados a la salida de la PTAR.

Análisis fisicoquímico			
Parámetro	Unidad	Método	Resultado
DBO₅	mg O ₂ /L	SM 5210 B	40
DQO	mg O ₂ /L	SM 5220 C	80
GRASAS Y ACEITES	mg/L	SM 5520 C	2
pH	UN	SM 4500 H + B	7,2
SST	mg/L	SM 2540 D	47
SSED	mg/L	SM 2540 F	4

Nota: Resultados obtenidos mediante el monitoreo compuesto de la muestra No. 2, tomada de 5:00 A.M a 12:00 P.M con tratamiento, del segundo punto de muestreo ubicado en el descole a la salida del agua tratada de la PTAR. Adaptado de “TECNOAMBIENTAL S.A.S. Resultados de laboratorio de aguas, CONSORCIO INGEVICOM PTAR GAITÁN”; Por Mora, 2020

Tabla 10. Resultados de la muestra No.3 de los parámetros analizados a la entrada de la PTAR.

Análisis fisicoquímico			
Parámetro	Unidad	Método	Resultado
DBO₅	mg O ₂ /L	SM 5210 B	235
DQO	mg O ₂ /L	SM 5220 C	240
GRASAS Y ACEITES	mg/L	SM 5520 C	14,1
pH	UN	SM 4500 H + B	6,84
SST	mg/L	SM 2540 D	110
SSED	mg/L	SM 2540 F	10

Nota: Resultados obtenidos mediante el monitoreo compuesto de la muestra No. 3, tomada de 1:00 P.M a 8:00 P.M sin tratamiento, del primer punto de muestreo ubicado en la caja receptora de aguas a la entrada de la PTAR. Adaptado de “TECNOAMBIENTAL S.A.S. Resultados de laboratorio de aguas, CONSORCIO INGEVICOM PTAR GAITÁN”; Por Mora, 2020.

Tabla 11. Resultados de la muestra No.4 de los parámetros analizados a la salida de la PTAR.

Análisis fisicoquímico			
Parámetro	Unidad	Método	Resultado
DBO₅	mg O ₂ /L	SM 5210 B	30
DQO	mg O ₂ /L	SM 5220 C	60

GRASAS Y ACEITES	mg/L	SM 5520 C	2,5
pH	UN	SM 4500 H + B	7,00
SST	mg/L	SM 2540 D	30
SSED	mg/L	SM 2540 F	2

Nota Resultados obtenidos mediante el monitoreo compuesto de la muestra No. 2, tomada de 1:00 P.M a 8:00 P.M con tratamiento, del segundo punto de muestreo ubicado en el descole a la salida del agua tratada de la PTAR. Adaptado de “TECNOAMBIENTAL S.A.S. Resultados de laboratorio de aguas, CONSORCIO INGEVICOM PTAR GAITÁN”; Por Mora, 2020.

Por último, se construyó la (**tabla 25**) con la finalidad de consignar los datos, y así mismo realizar la comparación de los valores de vertimiento respecto a la Resolución No. 0631 de 2015 y de los valores adoptados por parte de la Consultoría N.º 188 de 2018 “estudios y diseños de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán Meta”.

Tabla 12. Cumplimiento normativo según los resultados de laboratorio obtenidos para la segunda etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán.

Parámetro	Resultados Laboratorio				Valores adoptados	Resolución 0631 de 2015	Cumple	
	5:00 A.m. a 12:00 P.m.		1:00 P.m. a 8:00 P.m.				Si	No
	M.1.E.	M.2.S.	M.3.E.	M.4.S.				
DBO₅ (mg O₂/L)	210	40	235	30	50	70	X	
DQO (mg O₂/L)	250	80	240	60	80	150	X	
GRASAS Y ACEITES (mg/L)	82,2	2	14,1	2,5	10	10	X	
pH (UN)	6,62	7,2	6,84	7,00	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	X	
SST (mg/L)	100	47	110	30	50	70	X	
SSED (mg/L)	10	4	10	2	5	5	X	

Nota: M.1.E: Muestra 1 entrada PTAR; M.2.S: Muestra 2 salida PTAR; M.3.E: Muestra 3 entrada PTAR; M.4.S: Muestra 4 salida PTAR. En esta tabla se evidencia el óptimo desempeño de la planta cumpliendo los valores exigidos por la normatividad. Adaptado por Mora,2020.

2.1. Eficiencia de la segunda etapa de la PTAR según la remoción de carga contaminante.

La carga contaminante o carga másica, la cual representa la cantidad de contaminante por unidad de tiempo que se vierte a un efluente residual. Esta se expresa en T/año, T/día o Kg/día. (Agencia del Medio Ambiente - CIGEA, 1998), para la determinación de la eficiencia de la PTAR se utilizó la siguiente formula, según (Parra Rodríguez, 2006)

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} * 100$$

Donde:

E: Eficiencia de remoción del sistema en %

S₀: Carga contaminante entrada (DBO₅, DQO, SST Y SSED) mg/l

Ss: Carga contaminante salida en (DBO₅, DQO, SST Y SSED) mg/l

Se evidencio buenos resultados en cuanto a la remoción de carga contaminante para cada uno de los parámetros analizados con valores entre (75% a 87 %) como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 13. Eficiencia de remoción de carga contaminante de la segunda etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán, de 5 AM a 12 PM.

Eficiencia (%) de remoción en horario de 5 am a 12 pm			
Parámetro	Entrada	Salida	% Remoción
DBO ₅	210	40	80,95 %
DQO	250	80	68,00 %
GRASAS Y ACEITES	82,2	2	97,57 %
SST	100	47	53,00 %
SSED	10	4	60,00 %
TOTAL			71,90 %

Nota: Valores obtenidos a partir del resultado 1 y 2 otorgados por parte del laboratorio certificado en la entrada (caja receptora) y salida (descole) de la PTAR. Adaptado de; Mora, 2020.

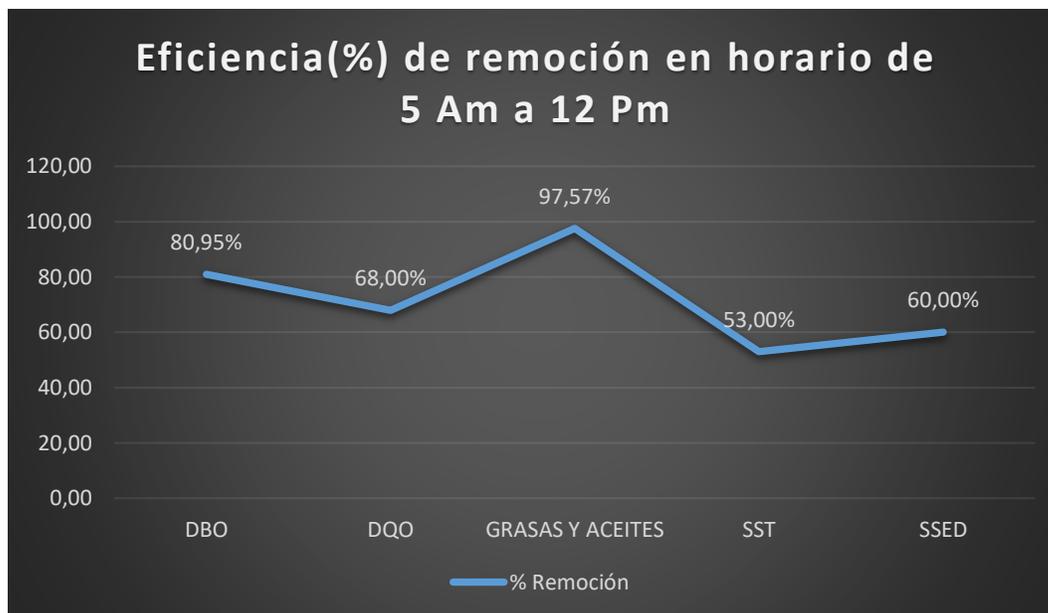


Figura 6. Eficiencia de remoción de contaminante en horario de 5 am a 12 pm. Adaptado de; Mora, 2020.

Tabla 14. Eficiencia de remoción de carga contaminante de la segunda etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán, de 1 PM a 8 PM.

Eficiencia (%) de remoción en horario de 1 Pm a 8 Pm			
Parámetro	Entrada	Salida	% Remoción
DBO₅	235	30	87,23 %
DQO	240	60	75,00 %
GRASAS Y ACEITES	14.1	2,5	82,27 %
SST	110	30	72,00 %
SSED	10	2	80,00 %
TOTAL			79,45 %

Nota: Valores obtenidos a partir del resultado 3 y 4 otorgados por parte del laboratorio certificado en la entrada (caja receptora) y salida (descole) de la PTAR. Adaptado de; Mora, 2020.

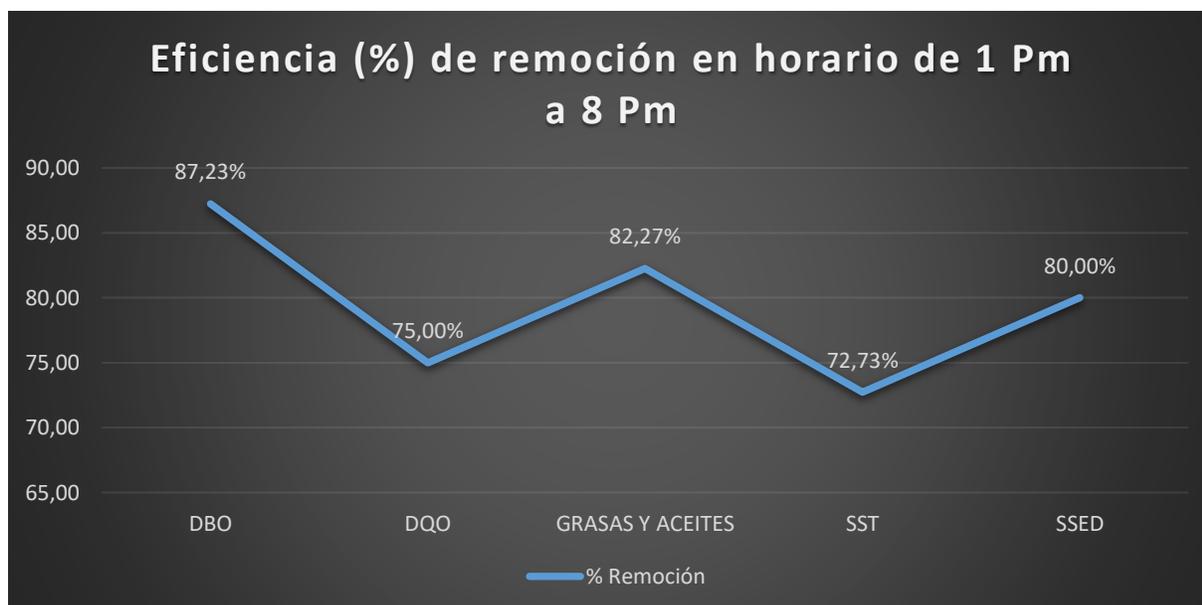


Figura 7. Eficiencia de remoción de contaminante en horario de 1 Pm a 8 pm. Adaptado de; Mora, 2020

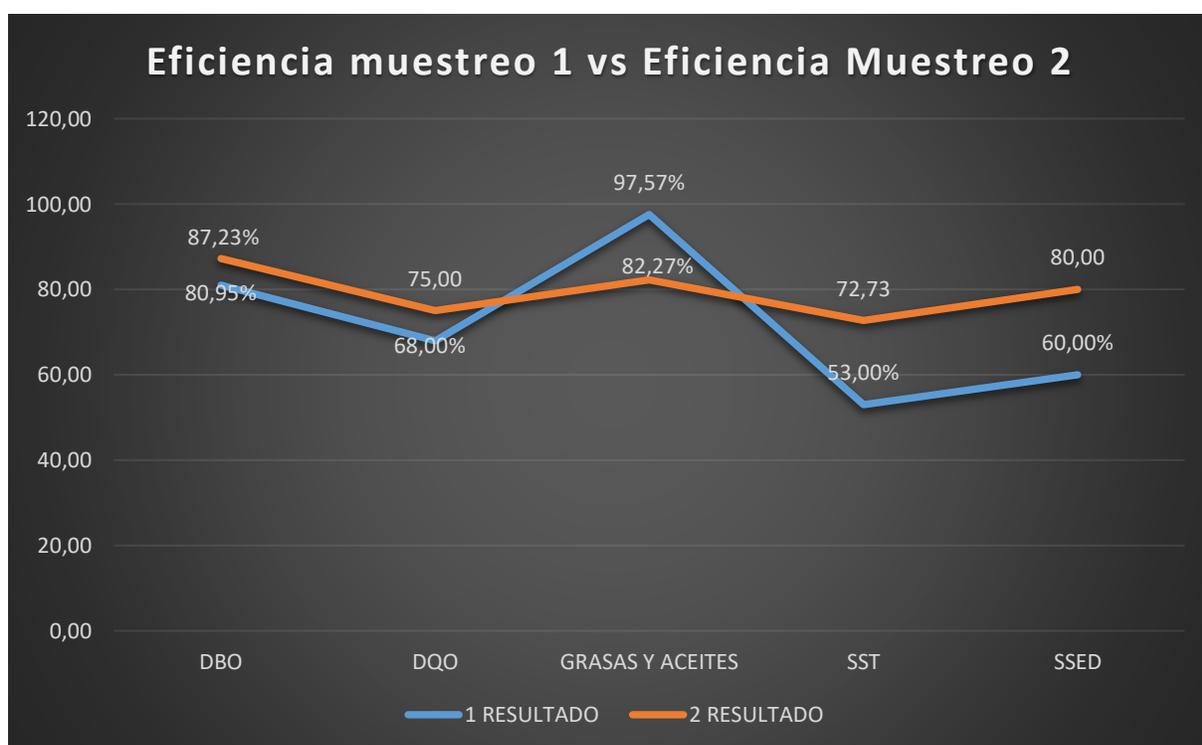


Figura 8. Comparación de eficiencias de remoción de contaminante entre muestreo #1 vs muestreo #2. Adaptado de; Mora, 2020.

De igual manera se determinó que la eficiencia de la PTAR aumenta de forma directamente proporcional al tiempo de funcionamiento, esto se pudo observar a partir de la comparación entre

el resultado total de la **Tabla 13**, el cual fue 71,90 % en un horario de 5:00 AM a 12:00 PM. Y el de la **Tabla 14**, con un total de 79.45% de remoción en un horario de 1:00 PM a 8:00 PM. Con un aumento significativo del 7,55 % en tan solo 1 día.

3. Manual de arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento.

Para llevar a cabo la adecuada iniciación del sistema de tratamiento se creó un manual operativo, ver en pág. (*Apéndice A*), el cual contiene instrucciones tanto de uso como de mantenimiento de todos los equipos presentes en la planta y el personal necesario para dicha labor.

CONCLUSIONES

Tanto equipos como unidades presentes en la segunda etapa de la PTAR cumplieron con todos los parámetros de diseño establecidos por la Resolución 0330 de 2017, determinando que el cumplimiento de estos es equivalente a una mejor eficiencia en los procesos de la planta.

Se logro determinar que los parámetros de diseño de los componentes de una PTAR dependerán principalmente de ciertos factores como el lugar y el terreno donde se vaya a realizar la planta, el tipo de agua residual que se vaya a tratar, la tecnología que se quiera implementar, y lo mas importante, la caudal que se vaya a requerir.

Se demostró que los sistemas de tratamiento aerobios que cuenten con filtros percoladores tienen ventajas frente a los procesos anaerobios como: Operación sencilla, respuesta lenta y recuperación más rápida de los cambios brusco de la DBO y, por último, son menos sensibles a la presencia de sustancias toxicas.

Las fichas técnicas realizadas fueron indispensables para la determinación de la calidad y el estado de los equipos y unidades implementados en la planta los cuales fueron indispensables para el adecuado arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales.

A partir de los resultados entregados por parte del laboratorio certificado TECNOAMBIENTAL S.A.S, y de las ecuaciones realizadas en cuanto a la eficiencia de remoción de contaminantes para cada uno de los parámetros DBO, DQO, SST, SSED, grasas y aceites de la PTAR, se determinaron valores entre (75% a 87%) estando por debajo de los límites máximos permisibles dando cumplimiento a la resolución 0631 de 2015.

De igual manera se comprobó que la eficiencia del sistema de tratamiento dependerá de forma directamente proporcional a los tiempos de retención hidráulicos (TRH) que se presenten en los procesos unitarios de la PTAR.

El manual de arranque y puesta en marcha de la PTAR proporciona una información detallada acerca del mantenimiento preventivo, los posibles fallos, la correcta operación de las unidades y las especificaciones técnicas, así como las advertencias de uso, siendo esto sumamente importante para realizar la correcta y adecuada puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio.

Finalmente, y una vez evaluados todos los resultados obtenidos se determinó que la base fundamental para realizar un adecuado arranque y puesta en marcha de un sistema de tratamiento de agua residual dependerá siempre de dos factores: el primero es una buena ejecución de la obra, cumpliendo con todas las especificaciones técnicas de la normatividad colombiana y según la resolución 0330 de 2017 RAS, el segundo, un muy buen manual dedicado especialmente para el sistema que se vaya a implementar y por ende a construir.

El proceso como pasante en la empresa fue un reto indispensable para mi formación como ingeniero ambiental, adquiriendo nuevos conocimientos y logrando desenvolverme frente situaciones reales en campo, como le fue este proyecto, de igual manera se cumplió con todas actividades asignadas por la empresa generando un buen ambiente laboral por ambas partes.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda seguir realizando monitoreos continuos a la PTAR, específicamente en el punto de vertimiento en donde se realiza la descarga del agua ya tratada al cuerpo hídrico para así mismo llevar un control en cuanto a la eficiencia de remoción de carga contaminante y que esta no disminuya.

Según el sistema de tratamiento aerobio implementado en la planta y a partir de su gran disposición de lodos se recomienda realizar algún tipo de aprovechamiento dado que, por la gran cantidad de microorganismos presentes en los lodos, estos se convierten en el mejor abono para cultivos. Convirtiéndose en una oportunidad beneficiosa y de remuneración económica debido a las grandes empresas agrícolas de la región.

Se recomienda dar continuidad a este tipo de proyectos, dado que uno de los procesos más importantes en una PTAR es su arranque y puesta en marcha, de esto dependerán los demás factores a la hora de los tratamientos.

Se considera pertinente seguir realizando estudios físico-químicos y biológicos al río Manacacias en diferentes puntos antes y después del vertimiento de la PTAR, para así demostrar lo importante que es la construcción de este tipo de sistemas de tratamiento y lo beneficioso que llega ser tanto como para la población como para las fuentes hídricas.

De igual forma se considera adecuado realizar estudios sociodemográficos a la población aledaña del río con la finalidad de establecer el cambio en la calidad de vida.

En cuanto al manual en el índice de seguridad del personal, se recomienda que se contrate una profesional HSEQ, para estar al tanto de todas las actividades en la planta.

Por último, desde un entorno socio-ambiental, se sugiere realizar campañas de socialización con la población y con aquellas personas que se benefician de algún modo del recurso hídrico, de tal forma que sea posible darles a entender la situación ambiental en términos de condiciones de calidad del agua, y a su vez, demostrarles lo importante y necesario el adecuado manejo y conservación del recurso hídrico.

BIBLIOGRAFIA

- ACODAL. (15 de Septiembre de 2000). *PLANTA DE TRATAMIENTO SALITRE- FASE1*.
Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal43/salitre.pdf>
- Agencia del Medio Ambiente - CIGEA. (Diciembre de 1998). Obtenido de
<https://es.slideshare.net/henrycr80/cargaorgmetodo#:~:text=Carga%20contaminante%20%20C3%B3%20carga%20m%C3%A1sica,%20Fd%C3%ADa%20%20C3%B3%20Kg%20Fd.>
- B & G Consultores. (2018). *Contrato de consultoria No 188, Estudios y diseños para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán Meta*. Puerto Gaitan.
- Bello, Y., & Lara, R. (Marzo de 2006). *Evaluación del arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales de una empresa tabacalera*. Obtenido de
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652006000100010
- Bermudez, J., & Carillo, E. (2019). *Universidad catolica* . Obtenido de
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24358/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20FINAL%20-%20PTAR%20GUASCA%20CUNDINAMARCA%20-%2020504641%20-%2020504120..pdf>
- Bufete de Ingenieria de Yucatán S.A. (Octubre de 2007). *SEMANART*. Obtenido de
<http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/yuc/estudios/2007/31YU2007HD039.pdf>
- Camargo Puerto, M. (2017). *AJUSTES A LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA PTAR COMPLEMENTARIA*. Puerto Gaitan: Municipio de Puerto Gaitan.
- Camargo puerto, m. (2017). *INFORME AJUSTES A LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA PTAR COMPLEMENTARIA DEL MUNICIPIO DE PUERTO GAITÁN META*. Puerto Gaitán: B & C consultores.
- Carrion Villacis, S. (2010). *“Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales*.
Guayaquil-Ecuador: Propio.
- CRITES-TCHOBANOGLUS. (2000). *Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Bogota: McGraw Hill.
- DANE. (2018). *Dane.gov.co*. Obtenido de
<https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/CNPV-2018-Poblacion-Ajustada-por-Cobertura.xls>
- Félez Santafé, M. (12 de Enero de 2009). *Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos*. Obtenido de
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/6263?locale-attribute=es>

- Fibras y Normas de Colombia S.A.S. (2018). *Fibras y Normas de Colombia S.A.S.* Obtenido de blog.fibrasynormasdecolombia.com/aguas-residuales-clasificacion-y-caracteristicas/#Agua-Residual-Domestica-ARD
- Herrera Ariza, N. (Abril de 2009). *PLAN PROSPECTIVO AGROPECUARIO PUERTO GAITAN 2020*. Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos%20pdf/puertogaitanmetappa2010.pdf>
- IDEAM. (2018). *Estudio Nacional Del Agua*. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023858/ENA_2018.pdf
- Manjarrez, P. (2017). *Informe de Diseños PTAR 2da etapa- Puerto Gaitan*. Villavicencio: Prosisistemas aqua s.a.s.
- MAPLE- Manejo ambiental y planeacion ecologica . (2006). <http://sinat.semarnat.gob.mx/>. Obtenido de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/ags/estudios/2006/01AG2006HD016.pdf>
- Matan Aranda, J. F. (9 de Agosto de 2017). *IAGUA*. Obtenido de El Impacto Social en Cultura del Agua: <https://www.iagua.es/blogs/jesus-fernando-matan-aranda/impacto-social-cultura-agua>
- METCALF & EDDY. (1985). *Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales*. Madrid: Editorial Labor S.A.
- METCALF & EDDY. (1997). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. Mexico.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). *Resolucion 0631*. Obtenido de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (junio de 2004). *minvivienda.gov.co*. Obtenido de http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/plan_nacional_de_manejo_de_aguas_residuales_municipales_en_colombia.pdf
- Molina, J. D., & Gomez, L. C. (Octubre de 2015). *PROPUESTA PARA LA PUESTA EN MARCHA DE LA PTAR DE LA ESCUELA MILITAR DE CADETES JOSE MARIA CORDOVA*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7286/PROYECTO%20DE%20GRADO.pdf;jsessionid=890F7DEBD18100D26AE8E23CA5E08CA7?sequence=1>
- Municipio de Puerto Gaitán - Meta. (1 de Mayo de 2020). *Alcaldia de Puerto Gaitán Meta*. Obtenido de <http://www.puertogaitan-meta.gov.co/noticias/plan-de-desarrollo-a-paso-firme-20202023-689827>

- Muñoz, A. (2008). *Monografía, Caracterización Y Tratamiento De Aguas Residuales*. Mineral De La Reforma, Hidalgo, Mexico.
- Pabon, S., & Suarez Gélvez, J. (29 de Septiembre de 2008). *Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento*. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/19207/1/15161-45928-1-PB.pdf>
- Parra Rodriguez, L. (Noviembre de 2006). <http://www.bdigital.unal.edu.co/>. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1178/1/linamarcelaparrarodriguez.2006.pdf>
- QUIMERK LTDA. (2010). *FABRICACIÓN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA*. Obtenido de <http://quimerk.com/fabricacion-plantas-de-tratamiento-de-aguas/fabricacion-plantas-de-tratamiento-de-agua-residual-domestica/>
- Ramirez, G. (10 de Noviembre de 2016). *El problema de las aguas residuales*. (Vanguardia) Obtenido de <https://www.vanguardia.com/opinion/editorial/el-problema-de-las-aguas-residuales-BFv1379459>
- Rodriguez Pimentel, H. (13 de Marzo de 2017). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes*. (iAgua) Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- wolmarans, B., & De Villiers, G. (2002). *Start-up of a UASB effluent treatment plant on distillery wastewater*. Pretoria.

APÉNDICES

Apéndice A. Manual de arranque y puesta en marcha para la segunda etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Puerto Gaitán - Meta

El control adecuado del proceso de tratamiento exige el registro, por el operador, de los caudales de aguas residuales y de las características del afluente. El mantenimiento deberá garantizar la operación y la seguridad, evitando la presencia de peligros o molestias para la población o el medio ambiente; seguirá las instrucciones dadas en los diseños de la PTAR. (Manjarrez, 2017)

1. Recurso Humano

1.1. Personal de operación para la planta.

Tabla 15. Personal Planta.

Técnico de Operación	1	Garante de la administración, operación y mantenimiento de la PTAR, y como tal ejerce autoridad directa sobre el personal de la planta
Operador	2	Encargado de la información requerida en los formularios de registro de observaciones visuales y de lectura de niveles. Es el responsable de la operación y mantenimiento de bombas y compuertas.
Ayudantes	2	Encargado de labores por parte de superiores.

Nota: Adaptado de contrato de obra 210 de 2018, VIACOM INGENIERIA S.A.S; Por Mora, 2020.

1.2. Perfil profesional

Técnico de operación de la PTAR:

- **Educación y experiencia.**

Técnico ambiental con mínimo (3) cinco años de experiencia en manejo y construcción de estructuras sanitarias y en la revisión de equipos electromecánicos (bombas y motores).

- **Conocimientos y habilidades.**

En procesos sanitarios, conocimientos en desechos domésticos, dosificación de químicos y aptitudes de expresión verbal, coordinación, habilidad manual y discriminación de colores.

- **Responsabilidades.**

Garante de la administración, operación y mantenimiento de la PTAR, y como tal ejercita autoridad directa sobre el personal de la planta, realizar informes ejecutivos en cuanto a los procesos de operación y de igual forma plasmar las novedades ocurridas en la bitácora de la planta

Es el gestor de la preparación de listas de materiales necesarios para una adecuada operación y mantenimiento de la PTAR, se estima que la dedicación, en tiempo, que sea necesaria dar, por parte del técnico es de 2 horas diarias, es decir una dedicación de 0,25 h-mes. (B & G Consultores, 2018)

Operador de turno de la PTAR:

- Educación: título de bachiller, curso de manejo de aguas y ambiental
- Habilidades: habilidad manual y discriminación de colores. Capacidad para la realización de muestreo de efluentes.
- Responsabilidades: encargado de la información requerida en los formularios de registro de observaciones visuales y de lectura de niveles. Es el responsable de la operación y mantenimiento de bombas y compuertas. Encomendado para el muestreo instantáneo de efluentes de las estructuras para los diferentes análisis.

El operador deberá laborar durante 8 horas diarias.

1.3. Funciones del Personal

Para un mantenimiento en general deben seguirse las siguientes pautas:

- Conservar la planta aseada y ordenada.
- Fijar planes para la ejecución de las operaciones ordinarias, preventivas y correctivas.
- Establecer un programa rutinario de inspección y lubricación.
- Observar las medidas de seguridad.

- Llevar un control de la calidad del proceso de la PTAR. Para esto se practicarán los análisis, mediciones y lecturas indicadas en los diseños y en este manual.
- Recorrido de control diario por toda la PTAR, para constatar el estado de las unidades de tratamiento y de los elementos de medición y de regulación.
- Reuniones de chequeos, las cuales deben efectuarse por lo menos, una vez a la semana, para evaluar el desarrollo de la operación y tomar las medidas correctivas. La reunión será presidida por el responsable de la PTAR.

1.4. Seguridad del Personal

El responsable de la PTAR, tendrá los siguientes deberes relativos a la seguridad laboral:

- Prestar atención a que el personal cumpla con las normas de seguridad laboral, con el propósito de evitar accidentes.
- Control de los equipos y aparatos que tengan la función de la prevención de los accidentes.
- Reiterar del uso de las partes y equipos de las instalaciones que generen peligros.
- Básicamente el vestuario de uso obligatorio para la permanencia en la PTAR (uniforme en tela resistente, botas de cuero y casco de protección; y para uso eventual, 1 bata sobretodo).
- Los medios de protección personal estarán conformados por: botas de caucho para trabajos en agua, guantes resistentes a sustancias corrosivas, gafas de protección, y mascarillas tapabocas con filtro.

El responsable de la PTAR debe establecer, al menos, las siguientes prohibiciones con el fin de asegurar la seguridad laboral:

- Fumar en todo momento y en cualquier lugar de la PTAR.
- Realizar cualquier actividad no relacionada con el proceso de la PTAR.
- No poseer los medios aprobados de vestimenta y protección según la zona donde se encuentre y la labor que se realice.
- Acceder a la PTAR como a las diferentes áreas al personal no autorizado.

- Encender fuego o cualquier o cualquier otra operación que genere llama o chispa sin previa aprobación y sin tomar las medidas de seguridad y de extinción de incendios necesarias.

2. Arranque y Puesta en Marcha

A continuación, se presenta el procedimiento a seguir cuando el sistema de tratamiento haya sido apagado en su totalidad o para efectuar su arranque inicial.

- Se debe verificar que el tablero tenga alimentación del fluido eléctrico.
- Verificar que las válvulas de control de flujo de las líneas de alimentación de agua o de gas (cloro gaseoso), no estén cerradas.
- Verificar que las rejillas de sólidos se encuentren limpias en su totalidad.
- Revisar las líneas de conducción de agua cruda (que no presenten escapes o taponamientos).
- Verificar que las bombas sumergibles y centrífugas operen normalmente.
- Una vez estén llenos el pozo de bombeo inicial, los sedimentadores, y el tanque de cloración, abrir las válvulas correspondientes a las salidas y parcialmente las de extracción de lodos verificando que las líneas de conducción no presenten obstrucciones y que las válvulas de control de flujo se encuentren en posición de operación adecuada.
- Continuar la operación como está descrito en la rutina de operación.

3. Operación técnica

3.1. Operación de Rutina

A continuación, se presentan las condiciones normales de operación para cada una de las líneas de flujo y control de operaciones unitarias (B & G Consultores, 2018)

En una jornada de trabajo normal, de deben considerar los siguientes aspectos:

- Verificar en la bitácora de operación las condiciones existentes en el momento de recibir su turno.
- Observar el tablero de control con el objeto de verificar el funcionamiento normal de los diferentes equipos y unidades de operación.
- Verificar que las condiciones de entrada del agua cruda se ajusten al valor de caudal máximo de 90 l/s para la operación de la planta (pH, DQO, OD, temperatura).
- Verificar la posición de los trinquetes de las válvulas (apertura, cierre parcial o total), en las unidades operativas de acuerdo a la etapa que se esté realizando en cada una de ellas.
- Medición de los parámetros como pH, OD, temperatura, caudal, su medición se explica en el **Plan de monitoreo**.
- Verificación del período de toma de muestras compuestas de 100 ml/hora y, tomarlas para análisis cuando sea **necesario**.
- Según las recomendaciones de los fabricantes (ver catálogos), para los equipos electro-mecánicos (tales como bombas, distribuidores, moto-reductores, motor diesel de la planta eléctrica, etc.), debe seguirse un control estricto al programa de lubricación.
- En las bombas debe prestarse atención a los siguientes elementos: cojinetes (ruidos y calentamiento), motores (velocidad de operación), tablero de control (limpieza y condiciones), y operación de bombeo (vibraciones y ruidos).
- Los motores, bombas y equipos de control recibirán mantenimiento en forma regular y permanecerán limpios, y garantizarse su seguridad y capacidad de funcionamiento. Examinarlos periódicamente, para ver se está bien aislados, si sus partes móviles están libres, si las presiones en los contactos son firmes y si las derivaciones no están dañadas, y revisar los controles para que operan al voltaje establecido. Se cerciorará que todos los controles eléctricos estén limpios y secos.
- Cuando las clavijas de un contacto están quemadas o corroídas, deben reemplazarse o pulir sus puntas. También, deben limpiarse los contactos sucios y para los tableros se usará un limpiador de aire o de vacío, cuando sea necesario.

3.2. Equipos y unidades.

- Operación de rutina para **rejas de solidos gruesos y desarenador (Apéndice R)**
- Operación de rutina para **pozo de bombeo de recirculación (Apéndice S)**
- Operación de rutina para **filtros percoladores (**
- **Apéndice T)**
- Operación de rutina para **cámara de distribución de caudales (**
- **Apéndice U)**
- Operación de rutina para **clarificadores secundarios (Apéndice V)**
- Operación de rutina para **pozo de bombeo de lodos (Apéndice W)**
- Operación de rutina para **espesadores para lodos (Apéndice X)**
- Operación de rutina para **lecho de secado de lodos (Apéndice Y)**
- Operación de rutina para **Control de equipos electro mecánicos (Apéndice Z)**

3.3. Plan de Monitoreo

Con el fin de efectuar una operación adecuada el operador debe desarrollar estudios periódicos de las variables más importantes que afectan el funcionamiento del sistema, y hacer los cambios apropiados cuando sea necesario (por ejemplo, ajustar la recirculación de lodos, o evaluar la calidad del lodo, o medir la concentración de la demanda biológica de oxígeno, o medir parámetros como pH, temperatura, sólidos suspendidos entre otros). (B & G Consultores, 2018)

Se realizarán los siguientes análisis:

- **Caudal.**

La medición del caudal es necesaria para toda la PTAR. La medida del caudal del efluente le da al operador datos necesarios para: una buena operación; para la determinación de la carga hidráulica y cuando los niveles de entrada en la PTAR se exceda en su capacidad hidráulica (una sobrecarga hidráulica de la PTAR puede no ser prevista en el tratamiento completo porque la actividad biológica puede no ser completada antes de que las aguas sean evacuadas); para proveer

información básica para determinar el modo de operación; para la comparación de la DBO y los SS (esta información es usada con la carga hidráulica y el OD para determinar la necesidad de aireación); también para informar a las autoridades ambientales del tipo de agua que se va a descargar.

La medición de los caudales será horaria, y se efectuará en los vertederos situados a la salida de los desarenadores, para esto, en la regleta calibrada, se tomará la lectura indicada que está expresada en litros por segundo (l/s).

- **Temperatura.**

La medición de temperatura se hará mediante un termómetro de mercurio, el cual será sumergido en la masa del líquido; y se medirá diariamente. La temperatura, además, es el índice sobre la tasa de mortalidad de coliformes. En general, la tasa de mortalidad de coliformes fecales se incrementa cuando la temperatura aumenta. La medición de la temperatura será horaria, y se efectuará en el canal de entrada al tratamiento preliminar.

- **pH.**

este parámetro se refiere a la medición del potencial de hidrógeno. Se hará mediante el uso de un potenciómetro o pH-metro portátil, su control será diario. El pH determina la acidez o basicidad del agua residual a tratar, el patrón de referencia oscila entre 6,5 y 7,5 clasificándolo como un pH ligeramente básico el cual tiene presencia de carbonatos y bicarbonatos los cual hace que la actividad bacteriana aumente. La medición del pH será horario, y se efectuará en el canal de entrada al tratamiento preliminar.

- **Oxígeno Disuelto.**

Este parámetro se medirá quincenalmente o cuando así lo determinen la autoridad ambiental regional. La medición de este parámetro indica la concentración de oxígeno disuelto que se halla presente en la muestra. El ensayo se hará mediante un método yodométrico utilizando un kit portátil apto para mediciones de campo.

- ✓ El nivel óptimo de oxígeno disuelto para un rango normal de operación permite variaciones entre 0,5 y 2 mg/l.
- ✓ Para medir este parámetro se recomienda tener mucha precaución en el evento de que sea necesario tomar muestreos para poder hacer la medición; en lo posible se recomienda hacer la medición directamente. Al realizar la toma de muestras se recomienda:
- ✓ No permitir nunca que la muestra permanezca en contacto con el aire, o que sea agitada (tanto el contacto con el aire como la agitación cambian el contenido gaseoso de la muestra).
- ✓ La toma de cada muestra se debe realizar haciendo uso de un frasco muestreador, de boca angosta, con capacidad mínima de 300 ml, y con tapa que garantice la hermeticidad del contenido

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno.**

La DBO5 se medirá quincenalmente, a la entrada del tratamiento preliminar, y en la estructura de salida final. Mediante este ensayo se mide el oxígeno molecular utilizado en un período de incubación de 5 días para la degradación bioquímica de la materia orgánica presente en la muestra. Se medirá tanto la DBO5 total como la filtrada.

Para llevar a cabo un muestreo de campo al cual se le medirá DBO5 se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ El pH de la muestra debe estar entre 6,5 y 7,5.
- ✓ Cada muestra se tomará haciendo uso de un frasco Winkler, el cual se sumerge completamente dentro del cuerpo de agua para garantizar que no queden burbujas de aire atrapadas.
- ✓ Los frascos Winkler que se usen deben haber sido completamente lavados usando abundante agua destilada.

- ✓ Los muestreos pueden ser puntuales o compuestos, siendo mayormente representativos los compuestos. Debido a que la toma de muestreos compuestos requiere de un tiempo considerable durante el cual la muestra puede llegar a degradarse y los resultados de DBO5 ser más bajos de lo real, es necesario mantener la muestra refrigerada a temperaturas inferiores a los 4°C; para ello se recomienda mantener el recipiente muestreador dentro de una nevera de icopor con hielo.

- **Demanda Química de Oxígeno**

Al igual que la DBO5, la DQO se medirá quincenalmente, a la entrada del tratamiento preliminar, y a la salida de la planta. Este ensayo se lleva a cabo para medir el oxígeno equivalente a la cantidad de materia orgánica presente en la muestra y que es susceptible de ser oxidada mediante un oxidante químico fuerte. Un correcto proceso para la toma de muestreos incluye los siguientes aspectos:

- ✓ Los muestreos para análisis de DQO deben ser preferiblemente compuestos.
- ✓ o Los recipientes en los cuales se recojan las muestras deben ser preferiblemente de vidrio.
- ✓ Todo muestreo deber ser preservado con ácido sulfúrico H₂SO₄ conc. 2ml y se debe acidificar buscando un pH menor o igual a 2.
- ✓ Los muestreos se harán compuestos durante un período de 12 horas, tomando 250 ml cada hora para finalmente obtener un total de un litro de muestra que será llevado de inmediato a un laboratorio.

- **Sólidos Suspendidos Totales.**

Los sólidos suspendidos se medirán quincenalmente, mediante tomas de muestras, en la llegada de la PTAR, y en la estructura de salida final. La medición de este parámetro provee la cantidad de materia orgánica e inorgánica que se encuentra en suspensión, y no disuelta, en la muestra que se ha tomado.

La remoción de sólidos suspendidos es tan importante como la remoción de DBO para prevenir la fuerte contaminación. Los sólidos suspendidos son difíciles de remover cuando del efluente tienen alta concentración de algas.

Para realizar un buen muestreo se debe proceder así:

- ✓ Las muestras deben ser puntuales por cuanto no hay forma de preservarlas evitando que se presente degradación, o descomposición microbiana, durante el período que pueda durar un muestreo compuesto.
- ✓ Se recomienda usar recipientes de vidrio para envasar las muestras, ó de plástico siempre y cuando se pueda garantizar que los sólidos en suspensión no se adhieran a las paredes del recipiente.
- ✓ Toda muestra se debe mantener refrigerada a una temperatura inferior a los 4°C.
- ✓ No se recomienda practicar un análisis de sólidos suspendidos a una muestra que tenga más de 24 horas de haber sido tomada, aunque ésta se haya mantenido refrigerada.

- **Coliformes Fecales.**

La medición de este parámetro se hará en la entrada del tratamiento preliminar, y en la estructura de salida final. La toma de muestras a las que se les va a practicar análisis de coliformes fecales debe realizarse en recipientes cuidadosamente esterilizados y lavados con agua destilada. Preferiblemente se debe usar recipientes de vidrio, aunque también se pueden usar bolsas de plástico pre-esterilizadas. Nunca se deben enjuagar los recipientes que se vayan a usar para este ensayo. Nunca se deben destapar estos recipientes antes de ser usados. Al hacer la toma de la muestra se debe dejar un espacio de aire en la parte superior del recipiente para facilitar la mezcla por agitación antes de iniciar el análisis.

- **Prueba de Sedimentabilidad.**

Esta prueba es muy útil para determinar la cantidad de lodos producidos, la calidad de los lodos, el tipo de microorganismos presentes, si hay procesos de desnitrificación en el clarificador, entre

otros. Con base en él, en muchas ocasiones se determina la recirculación de lodos, el tiempo de permanencia de los lodos en el clarificador. Se medirán esporádicamente cuando se hagan pruebas intensivas en el sistema de tratamiento.

4. Mantenimiento

Tabla 16. Mantenimiento de equipos y unidades de la PTAR.

Unidad de operación o equipo	Mantenimiento	Frecuencia
Bombas sumergibles	-Inspeccionar si se presentan vibraciones, ruidos anormales, escapes, ejes descentrados, consumo elevados corriente. -Lubricación de los cojinetes. -Limpieza general.	- Diaria
Estructuras	-Inspección de válvulas de drenaje y rebose. -Limpieza interna de la tubería de conducción de aire utilizando la válvula de paso.	- Bimensual - Durante una parada
Filtros percoladores	-Limpieza de boquillas para evitar el taponamiento.	- Diaria
Sedimentador	-Inspección del sistema de giro y del tanque de carga. -Limpieza de vertederos para evitar el arrastre de lodos.	- Diaria
Líneas de conducción de lodos	-Inspección del barredor de lodos. -Limpieza con agua limpia. -Inspección periódica para evitar taponamientos (si los hay, destapar con agua o aire a presión).	- Semestral - Cuando se presente taponamiento
Sistema eléctrico de control	-Revisión de amperímetros, guarda motores, switches	- Semanal

Nota: Mantenimiento que se le debe implementar a cada equipo y unidad presente en la planta con su respectiva frecuencia para un óptimo rendimiento. Adaptado de contrato de obra 210 de 2018, VIACOM INGENIERIA S.A.S; Por Mora, 2020.

5. Preguntas Críticas que debe hacerse el Operador.

- **Dificultades al iniciar la operación:**

El hecho de que los abonados potenciales de un sistema de alcantarillado nuevo se conecten lentamente, y que los caudales de diseños de la PTAR sean muy superiores al caudal sanitario, hace que el período inicial de operación sea crítico para la obtención de los tiempos adecuados de residencia hidráulica en las estructuras que les permita funcionar de manera satisfactoria. Si no se toman medidas para lograr de alguna manera los períodos de retención satisfactorios, se presentarán problemas tales como la producción de malos olores, y la descarga poco uniforme del agua residual sobre la superficie de los filtros percoladores

Para evitar los problemas antes mencionados, se recomienda usar las estructuras conforme crezca la demanda sanitaria. Para el caso particular de la población de Puerto Gaitán, en la que se cuenta con una red existente de alcantarillado, se pueden alcanzar tiempos de retención adecuados entre 160 h a 165 h para un funcionamiento normal de la PTAR.

- **Desbordamiento:**

Un mal mantenimiento de las estructuras (tuberías, canales, vertederos, etc.) de entrada o salida o el incremento desmesurado en el caudal, puede provocar desbordes ocasionados por obstrucciones. Por lo general, la poca probable ocurrencia de una sobreelevación moderada que experimente la estructura, aumenta la capacidad de descarga del vertedero de salida, el cual logra descargar el caudal excesivo sin problemas. Sin embargo, si ello no ocurre puede recurrirse a by-pasear el flujo restante, o a la remoción del vertedero, instalado en la salida de la estructura, para verter el caudal en exceso; o en caso extremo realizar el apagado de las bombas sumergibles situadas en el pozo de bombeo inicial.

- **Problemas con estructura de entrada, salida e interconexión:**

Cuando se observe falta de capacidad hidráulica en las estructuras de salida, se deberá remover los vertederos o en su defecto colocar mangueras de succión o tuberías, trabajando como sifones, para evitar el desbordamiento de las estructuras mientras se hacen las correcciones del caso. En caso extremo puede efectuarse el cierre de la PTAR para evitar inundaciones del sistema.

- **Problemas de obstrucciones y acumulaciones de agua.**

Este tipo de problema es de improbable manifestación en los filtros percoladores; en el caso de presentarse deben tomarse las siguientes medidas:

- Reforzar la fuerza de empuje, aumentando la carga del filtro; para ello, es posible aumentar la carga del filtro con problemas con la carga de otro, pudiéndose así duplicar la carga en el filtro; para lo anterior, debe procederse a cerrar un filtro (cerrar a la entrada la válvula de compuerta del filtro correspondiente), y con 2 bombas en operación simultánea, bombear al filtro atascado. Debe prestarse especial atención a la operación anterior, con el fin de evitar desbordamientos en las estructuras subsiguientes.
- Enjuagar la superficie del filtro con un chorro de agua de alta presión que se accione sobre las áreas obstruidas.
- Aflojar manualmente el material de relleno en la superficie del filtro, cuidando de no romperlo.
- Cargar el filtro percolador, bajo dirección técnica, con productos químicos adecuados, y enjuagar.

- **Problemas de alta DBO en el efluente:**

La presencia de altas concentraciones de DBO en el efluente de la planta es una violación al PSMV y a los reglamentos de CORMACARENA.

Este problema es ocasionado probablemente por factores como el corto tiempo de retención, las altas cargas orgánicas e hidráulicas, y a la posible aparición de compuestos tóxicos en el influente. Para solucionar esta dificultad se puede incrementar la recirculación para darle al agua el tiempo de residencia necesario. También se podrán reducir las cargas de tipo industrial y prevenir las descargas de agentes tóxicos.

- **Problemas de espumas y natas:**

Sí se observa espuma y nata superficial en la superficie de los sedimentadores, puede deberse a flotación de lodos o al alto contenido de grasas, aceites y detergentes. La espuma y la nata debe romperse aplicando chorros de agua o removerla físicamente y disponerla.

- **Formación de lodo flotante:**

El lodo flotante de los sedimentadores se desarrolla por la suspensión de partículas o también por aglutinaciones completas de lodo. A menudo, se forma por procesos de flotación debidos a la llamada desnitrificación espontánea o desgasificación deficiente, o debido a períodos demasiados largos de permanencia del lodo en el sedimentador secundario.

Las medidas que deben tomarse son:

- ✓ Evitar procesos de desnitrificación espontánea, introduciendo procesos planeados de desnitrificación (cambio de procedimiento).
- ✓ Establecer zonas de desgasificación entre el filtro y el sedimentador secundario.
- ✓ Remover rápidamente el lodo decantado en el sedimentador secundario.
- ✓ En lugar de la destrucción mecánica de la espuma, aspirarla por medio de un chorro de agua y eliminarla del ciclo aerobio de los lodos (espesador).
- ✓ Disminuir la entrada del flujo al sedimentador con problemas de lodos del fondo.
- ✓ Mejorar la colección de lodos del fondo.

6. Glosario de términos.

- **Aguas residuales:** el agua luego de ser usada por una comunidad o industria, que contiene material disuelto y en suspensión.
- **Aguas residuales domésticas:** agua residual de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos humanos.
- **Anaeróbico:** condición en la cual hay ausencia de aire u oxígeno libre.
- **Análisis:** el examen del agua, agua residual o lodos, efectuado por un laboratorio.
- **Bacteria:** grupo de organismos microscópico unicelulares, rígidos y carentes de clorofila, que desempeñan una serie de procesos de tratamiento, incluyendo: oxidación biológica, digestión, nitrificación y desnitrificación.
- **Bases de diseño:** conjunto de datos para las condiciones finales e intermedias de diseño, que sirven para el cálculo de los procesos de tratamiento. los datos generalmente incluyen: poblaciones caudales, concentraciones y aportes per-cápita de las aguas residuales. los parámetros que normalmente se describen en las bases de diseño son: dbo, ss, cf y nutrientes.
- **Biodegradación:** la degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos, en el suelo, cuerpos receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales.
- **Biopelícula:** película biológica adherida a un medio sólido que lleva a cabo la degradación de la materia orgánica.
- **By-pass:** conjunto de tuberías, canales, válvulas y compuertas que permiten el paso de un líquido alrededor de un proceso o planta de tratamiento. conducto usado para desviar el agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia o de mantenimiento correctivo

- **Carga de diseño:** combinación entre caudal y concentración de un parámetro específico, que se usa para dimensionar un proceso de tratamiento, bajo condiciones aceptables de operación.
- **Carga superficial:** caudal o masa de un parámetro por unidad de área, que se usa para dimensionar un proceso de tratamiento.
- **Caudal máximo horario:** caudal a la hora de máxima descarga. caudal medio – caudal medio anual.
- **Caudal pico:** caudal máximo en un intervalo de tiempo dado.
- **Certificación:** programa de la entidad de control para documentar la experiencia y entrenamiento del personal de operación y mantenimiento de una planta de tratamiento.
- **Coliformes:** bacterias negativas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37°C (coliformes totales). aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44 o 44,5°C se denominan coliformes fecales.
- **Concentración:** concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, es la relación existente entre su peso y el volumen que lo contiene.
- **Compostaje:** proceso mediante el cual la materia orgánica contenida en los lodos se convierte a una forma más estable, reduciendo su volumen y creando un material apto para cultivos y recuperación de suelos.
- **Criterios de diseño:** normas o guías de ingeniería que especifican objetivos, resultados o límites que deben cumplirse en el diseño de un proceso, estructura o componente de un sistema. guías que especifican detalles de construcción y materiales.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)** – cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente 5 días y 20°C).
- **Demanda de oxígeno:** término similar a demanda bioquímica de oxígeno.
- **Demanda química de oxígeno (DQO):** medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica (carbonácea) del agua residual, usado como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en una prueba que dura dos horas.
- **Depuración de aguas residuales:** término usado para significar la purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales, como por ejemplo dbo, dqo, bacterias, materiales tóxicos, etc. se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos. el término tratamiento de aguas residuales es preferible para aplicación a líquidos y lodos.
- **Desarenador:** cámara diseñada para reducir la velocidad del agua residual y permitir la separación de sólidos minerales (arena), por sedimentación.
- **Descarga controlada:** regulación de la descarga del agua residual para eliminar las variaciones violentas de caudal y calidad. término empleado a descargas de desechos industriales después de compensación y homogeneización.
- **Desechos ácidos:** contienen una apreciable cantidad de acidez y se caracterizan por un ph bajo.
- **Desechos peligrosos:** desechos con un potencial dañino para el ambiente, debido a su toxicidad, alta capacidad de combustión, corrosividad, reactividad química u otra razón.
- **Desechos industriales:** desechos líquidos originados de la manufactura de un producto específico. usualmente son más concentrados y tienen mayores variaciones de caudal que los desechos domésticos.

- **Deshidratación de lodos:** procesos de remoción del agua de lodos.
- **Desinfección:** la destrucción bacterias y virus de origen fecal en las aguas residuales, con el uso de un agente desinfectante.
- **Digestión:** descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo, produciendo una mineralización, licuefacción y gasificación parcial.
- **Digestión aeróbica:** descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo, en presencia de oxígeno.
- **Digestión anaeróbica:** descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo, en ausencia de oxígeno.
- **Disposición final:** disposición del efluente de una planta de tratamiento o de los lodos tratados.
- **Disposición final de residuos:** proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en forma definitiva, disponiéndolos en lugares especialmente diseñados para recibirlos y eliminarlos, obviando su contaminación y favoreciendo la transformación biológica de los materiales fermentables, de modo que no representen daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.
- **Eficiencia de tratamiento:** relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el influente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico. puede expresarse en términos decimales y normalmente se expresa en porcentaje.
- **Efluente:** líquido que sale de un proceso de tratamiento. efluente final – líquido que sale de una planta de tratamiento.

- **Eliminación biológica de nutrientes:** término que se aplica a la eliminación de nitrógeno y fósforo mediante procesos de tratamiento biológico.
- **Emisario:** canal o tubería que recibe las aguas residuales de un sistema de alcantarillado hasta una planta de tratamiento o de una planta de tratamiento hasta el punto de disposición final.
- **Fase endógena:** etapa en la cual los microorganismos se ven forzados a metabolizar su propio protoplasma sin reposición del mismo, ya que la concentración de alimento disponible se encuentra al mínimo.
- **Filtro anaerobio:** consiste en una columna llenada con varios tipos de medios usados para el tratamiento de la materia orgánica carbonácea en aguas residuales.
- **Filtro percolador:** tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto en la gran mayoría de los casos de materiales sintéticos o piedras de diversas formas, de alta relación área/volumen, sobre el cual se aplican las aguas residuales por medio de brazos distribuidores fijos o móviles. este es un sistema de tratamiento aerobio.
- **Grado de tratamiento:** medida de la eficiencia de remoción de una planta de tratamiento de aguas residuales en relación con parámetros como: DBO, bacterias u otro parámetro especificado en eficiencia de remoción requerida de una planta de tratamiento de aguas residuales para cumplir con los requisitos de calidad del cuerpo receptor.
- **Impacto ambiental:** cambio o consecuencia al ambiente que resulta de una acción específica o proyecto.
- **Impermeable:** que no permite el paso del agua.
- **índice volumétrico de lodo:** indica las características de sedimentabilidad del lodo.

- **Interceptor:** canal o tubería que recibe el caudal, en tiempo seco, de una serie de descargas transversales y las conduce a una planta de tratamiento. en el caso de un sistema de alcantarillado combinado recibe también un caudal predeterminado de aguas lluvias.
- **lechos de secado:** dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido.
- **Lodo biológico:** lodo excedente que se genera en los procesos biológicos de las aguas residuales.
- **Metales pesados:** metales que pueden ser precipitados por el hidrógeno sulfurado en solución ácida, por ejemplo: plomo, plata, mercurio, etc.
- **Mortalidad de bacterias:** medida del decaimiento de la población bacteriana normalmente expresada por un coeficiente cinético de primer orden en unidades de día⁻¹.
- **Muestra compuesta:** combinación de alícuotas de muestras individuales (normalmente en 24 horas) cuyo volumen parcial se determina en proporción al caudal del agua residual al momento de cada muestreo.
- **Muestra puntual:** muestra tomada al azar de un cuerpo receptor y a una hora determinada, para el examen de un parámetro que normalmente no puede preservarse.
- **Muestreo:** colección de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va analizar en el laboratorio.
- **Nitrificación:** es el proceso biológico mediante el cual el amoníaco se transforma, primero en nitrito y posteriormente en nitrato.

- **Nutriente:** cualquier sustancia que, al ser asimilada por organismos, promueve crecimiento. en aguas residuales se refiere normalmente al nitrógeno y fósforo, pero también pueden ser otros elementos esenciales en cantidades trazas.
- **Obras de llegada:** obras en la planta de tratamiento inmediatamente después del emisario y antes de los procesos de tratamiento, por ejemplo: cámara de llegada, dispositivos de by-pass, etc.
- **Oxígeno disuelto (OD):** concentración medida en un líquido, por debajo de la saturación, normalmente expresada en mg/l.
- **Parásito:** organismos protozoarios y helmintos que habitando en el intestino pueden causar enfermedades. los helmintos pueden ser de forma plana y redonda (nematodos). éstos últimos son los de mayor significación en las aguas residuales.
- **Sedimentación:** proceso de clarificación de las aguas residuales mediante la precipitación de la materia orgánica o la materia putrescible.
- **Sedimentador:** tanque de sedimentación rectangular o circular usado para remover sólidos sedimentables del agua residual.
- **Sistema combinado:** sistema de alcantarillado que recibe aguas lluvias y aguas residuales de origen doméstico y/o industrial.
- **Sólidos sedimentables:** materia sólida que sedimenta en un período de una hora.
- **Substrato:** es el término que se emplea para representa la materia orgánica o los nutrientes que sufren una conversión o que pueden constituir un factor limitante en el tratamiento biológico.

- **tanque de compensación:** tanque utilizado para almacenar y homogeneizar el desecho, eliminando las descargas violentas.
- **Tiempo de retención hidráulico:** tiempo promedio que se tardan las partículas de agua en un proceso de tratamiento. usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil.
- **Tóxicos:** elementos o compuestos químicos que, al entrar en contacto con un organismo biológico, causan una respuesta adversa.
- **Tratamiento aerobio:** estabilización de un desecho por acción de microorganismos en presencia de oxígeno.
- **Tratamiento anaeróbico:** estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.
- **Tratamiento biológico:** procesos de tratamiento en los cuales se intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. primario o secundario. se excluyen los procesos de tratamiento terciario o avanzado.
- **Tratamiento de lodos:** procesos de estabilización, acondicionamiento y deshidratación de lodos.
- **Tratamiento preliminar:** acondicionamiento de un desecho antes de ser descargado en el sistema de alcantarillado. procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario (desmenuzados, rejillas, desarenadores, etc.).
- **tratamiento secundario – nivel de tratamiento por encima de tratamiento primario en donde se alcanzan eficiencias de remoción de dbp del orden del 85%. tratamiento biológico, generalmente lodos activados o filtros biológicos, con facilidades para manejo de lodos. se aplica también a lagunas de estabilización con alto grado de remoción.**

- **Vertederos:** Todos los vertederos poseen una ecuación general para la determinación del caudal. Esta ecuación depende de la gravedad, de su geometría y del espesor de su pared. La variable independiente será siempre la altura de la lámina de agua sobre el nivel de referencia. De esta forma cualquier vertedero puede calibrarse mediante una curva de calibración del mismo con base en diferentes alturas de la lámina de agua para los diferentes caudales.

Cámara de alivio de caudales	
Estado	Nuevo Deteriorado Mal estado
	X
Cantidad	Una (1) unidad
Ubicación	Adyacente a la descarga del emisario final (referencias cruzadas con mapa para mejor entendimiento).
Función	Permitir el ingreso del agua cruda a la PTAR o en situación de eventos de aguas lluvias, descargar los excedentes hacia el río Manacacías
DATOS TÉCNICOS	
Tipo	Rectangular, Abierto, Homogéneo
Material	Concreto reforzado y mampostería
DIMENSIONES	
Ancho	0,80 m
Largo	7,0 m
Altura Total	0,50 m
	

Apéndice B. Cámara de Alivio de Caudales. Adaptado de; Mora,2020.

Estación elevadora de aguas residuales			
Estado	Nuevo	Deterioradas	Mal estado
	X		
Cantidad	Una (1) unidad		
Ubicación	A la entrada de la PTAR		
Función	Permitir elevar el agua cruda a la PTAR		
DATOS TÉCNICOS			
Tipo	Bomba tipo tornillo de Arquímedes		
Material	Acero al carbono		
DIMENSIONES			
Ancho	0,80 m		
Largo	10,20 m		
Inclinación	30°		

Apéndice C. Estación elevadora de aguas residuales. Adaptado de; Mora,2020.

Canales de desbaste y desarenado			
Estado	Nuevas	Deterioradas	Mal estado
	X		
Cantidad	Dos (2) unidades		
Ubicación	Descenso de la estación elevadora		
Función	Permitir el ingreso del agua al sistema de tratamiento y soporte para la instalación de la rejilla de retención de sólidos, remoción de arenas y efectuar el aforo del agua influente.		
DATOS TÉCNICOS			
Tipo	Rectangular, Abierto, Homogéneo		
Material	Concreto reforzado impermeabilizado de 3.500 psi		
DIMENSIONES			
Ancho	0,90 m		
Largo útil	9,00 m		
Profundidad útil	0,30 m		
Altura total	1,20 m		
<p>El desarenador cuenta con canastas para facilitar la extracción de arenas que son el principal y característico sello de las aguas residuales de Puerto Gaitán. Para la elevación de estas canastas que llegarán a pesar más de 100 kg, se ha previsto una grúa viajera con accionamiento electromecánico y diferencial igualmente desplazable con motores eléctricos y diferencial eléctrico de 1 ton.</p>			
			

Apéndice D. Canales de desbaste y desarenado. Adaptado de; Mora,2020.

Rejillas de retención de sólidos			
Estado	Nuevas	Deteriorados	Mal estado
	X		
Cantidad	Dos (2) unidades		
Ubicación	Entradas de canales de desbaste y desarenado		
Función	Remover los sólidos gruesos y finos		
DATOS TÉCNICOS			
Tipo	Rejillas en platinas, inclinadas e igualmente espaciadas y canastilla de sólidos en lamina acero inox		
Material	Acero al carbono con pintura anticorrosiva y protección epoxica		
Velocidad	0,38 m/s		
DIMENSIONES			
Lado	0,90 m x 0,90 m		
Altura útil	0,90 m		
Espacio entre barras	4 cm		



Apéndice E. Rejillas de retención de sólidos. Adaptado de; Mora, 2020.

Canaleta Parshall			
Estado	Nueva	Deteriorado	Mal estado
	X		
Cantidad	Una (1) unidad		
Ubicación	Salida de canales de desbaste y desarenado		
Función	Aforo de caudales influentes en la planta		
DATOS TÉCNICOS			
Tipo	Lamina maquinada según calibración		
Material	Plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV)		
DIMENSIONES			
Largo x ancho			
Largo	1,00 x 1,00 m		
Espesor	2 mm		

Apéndice F. Canaleta Parshall. Adaptado de; Mora, 2020.

Pozo de bombeo y de recirculación			
Estado	Nueva	Deteriorado	Mal estado
	X		
Cantidad	Una (1) unidad		
Función	Amortiguación de picos de descarga y el elevar el agua residual cruda hacia el tratamiento secundario biológico		
DATOS TECNICOS			
Tipo	Rectangular, cerrado		
Material	Concreto reforzado		
Volumen útil	255 m ³		
DIMENSIONES			
Ancho	7,00 m		
Longitud	10,50 m		
Altura útil	1,00 m		
Altura total	2,00 m		
Este pozo estará dividido en dos para su facilidad de extracción de arenas			
			

Apéndice G. Pozo de bombeo y recirculación. Adaptado de; Mora, 2020.

Bombas sumergibles para bombeo de agua cruda			
Estado	Nuevas	Deterioradas	Mal estado
	X		
Cantidad	Cuatro (4) unidades		
Ubicación	Pozo de bombeo y de recirculación		
Función	Alimentar los filtros percoladores		
DATOS TECNICOS			
Fluido	Agua residual cruda		
Tipo	Sumergible, con impulsor contrablock (inatascable), vigilancia automática de estanqueidad y temperatura, sello mecánico primario de caras duras en carburo silicio, sello mecánico secundario de caras duras en carbón cerámica, placa de fondo ajustable con bordes de corte ondulados.		
Marca	ABS o Flyght		
Capacidad de la bomba	162 m ³ /h		
Diámetro de descarga	200 mm		
Eficiencia	70,3 %		
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN			
Carcasa, rotor y eje	Hierro fundido y acero inoxidable		
Tipo de sello	Mecánico		
MOTOR ELECTRICO			
Potencia	20 HP (18 kW), 1.755 RPM, 60 Hz, 220 V		
Tipo	Trifásico		
			

Apéndice H. Bombas sumergibles para bombeo de agua cruda. Adaptado de; Mora, 2020.

Filtros percoladores			
Estado	Nuevos	Deteriorados	Mal estado
	X		
Cantidad	Dos (2) unidades		
Función	Remover la materia orgánica en un 80% a través de un proceso biológico aerobio		
DATOS TECNICOS			
Tipo	Cilíndrico, abierto, homogéneo		
Material	Concreto reforzado impermeabilizado de 4.000 psi y protección con Xypex o similar		
Volumen útil	1.413 m ³ c/u.		
DIMENSIONES			
Diámetro	20,0 m		
Altura útil	6,70 m		
Altura total	4,50 m		
DATOS EQUIPOS			
Distribuidor hidráulico	Dispositivo fabricado en acero inox., con 4 brazos distribuidores, tanque carga, y boquillas de riego. Material en polipropileno virgen área 100 m ² /m ³		
Relleno filtrante	tipo roseta ortogonal (187 mm y h=50 mm), y relación de vacío del 95%.		
Medio de soporte	Malla en nylon reforzado, color negro, anclada a vigas con platinas de aluminio y con guayas		
Canal de drenaje	Concreto reforzado 4.000 psi de 0,60 m de ancho		
Ventilación	40 ventanas en cada filtro, de 0,50 x 0,20 m		

Tuberías y válvulas

Tuberías en Acero carbón 12" sch pvc 40, y válvula de compuerta 12" a la entrada de filtros

Escaleras

Acceso de inspección metálica anclada a filtros con 3 descansos, barandas de seguridad, y con acceso a filtros para inspección de distribuidores



Apéndice I. Filtros Percoladores. Adaptado de; Mora, 2020.

Cámara de distribución de caudales			
Estado	Nuevas	Deteriorados	Mal estado
	X		
Cantidad	Dos (2) unidades		
Ubicación	A la salida de los filtros percoladores		
Función	Permitir el ingreso de agua a los sedimentadores o devolverla al pozo de bombeo inicial		
DATOS TECNICOS			
Tipo	Rectangular, cerrado, homogéneo		
Material	Concreto reforzado impermeabilizado de 3.500 psi		
DIMENSIONES			
Ancho	1,80 m		
Largo	1,80 m		
Altura total	2,00 m		
DATOS EQUIPOS			
Compuerta	Lamina de acero con vástago, sellos en neopreno y volante		
Cantidad	Tres (3) unidades		

Apéndice J. Cámara de distribución de caudales. Adaptado de; Mora, 2020.

Sedimentadores secundarios			
Estado	Nuevos	Deteriorados	Mal estado
	X		
Cantidad	Dos (2) unidades		
Función	Promover la sedimentación de los sólidos suspendidos del efluente tratado aeróbicamente		
DATOS TECNICOS			
Tipo	Cilíndrico, abierto, homogéneo		
Material	Concreto reforzado impermeabilizado de 4.000 psi		
Volumen útil	394 m ³ c/u		
DIMENSIONES			
Diámetro	18,00 m		
Altura útil	3,20 m		
Altura total	2,40 m		
DATOS EQUIPOS			
Barredores de lodos	Barredor de lodos de 15,10 m, con pasarela con piso en nylon y barandas, con sistema de giro en acero y bronce, tracción con moto-reductor de doble tracción, anillos rozantes con unidad eléctrica en cobre electrolítico y escobillas, barredor de lodos en acero inox. y banda en neopreno, y baffle central en acero inox.		
Vertederos	Triangular perimetral y baffle deflector espumas		
Tolva de sobrenadantes	Tolva en lámina de acero inox. para extracción de grasas, aceites y espumas del sedimentador		
Tuberías y válvulas agua	Tuberías en Ac 12" sch 40		
Tubería y válvulas lodos	Tuberías en Ac 6" sch 40, y válvulas de mariposa para drenaje de lodos y		

sobrenadantes hacia sedimentadores al pozo
de bombeo de lodos



Apéndice K. Sedimentadores secundarios. Adaptados de; Mora, 2020.

Pozo de bombeo para lodos			
Estado	Nuevo	Deteriorado	Mal estado
	X		
Cantidad	Una (1) unidad		
Función	Almacenar los lodos provenientes de los sedimentadores para ser recirculados al tratamiento aeróbico o llevarlos a la deshidratación (lecho de secado)		
DATOS TECNICOS			
Tipo	Rectangular, Abierto, Homogéneo		
Material	Concreto reforzado de 4.000 psi		
Volumen útil	11,70 m ³		
DIMENSIONES			
Ancho	3,00 m		
Largo	3,00 m		
Profundidad util	1,30 m		
Altura Total	4,30 m		



Apéndice L. Pozo de bombeo para lodos. Adaptado de; Mora, 2020.

Bombas sumergibles para bombeo de lodos			
Estado	Nuevas	Deterioradas	Mal estado
		X	
Cantidad	Dos (2) unidades		
Ubicación	Pozo de bombeo para lodos		
Función	Bombeo de lodos, natas y espumas hacia espesadores y lecho de secado de lodos		
DATOS TECNICOS			
Fluido	Lodos secundarios		
Tipo	Sumergible, con impulsor Vortex para bombeo de lodos muy abrasivos		
Marca	ABS		
Capacidad de la bomba	14 m ³ /h		
Diámetro de descarga	50 mm		
Eficiencia	45,5 %		
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN			
Carcasa, rotor y eje	Hierro fundido y acero inoxidable		
Tipo de sello	Mecánico		
MOTOR ELECTRICO			
Potencia	1,4 HP (1 kW), 3.400 RPM, 60 Hz, 220 V		
Tipo	Trifásico		
			

Apéndice M. Bombas sumergibles para el bombeo de lodos. Adaptado de; Mora, 2020.

Esperadores de lodos			
Estado	Nuevos	Deterioradas	Mal estado
	X		
Cantidad	Dos (2) unidades		
Función	Espesamiento de lodos		
DATOS TECNICOS			
Tipo	Tronco-cónico, Abierto, Homogéneo		
Material	Tanque en lámina de acero al carbón de 3/16 con sand blasting, y protección con pintura anticorrosiva y epóxica, y estructura de soporte en perfiles de acero		
Volumen util	5 m ³ c/u		
Capacidad	de 43,73 Kg/m ² -dia c/u		
DIMENSIONES			
Diámetro	2,10 m		
Altura recta	3,20 m		
Altura cono	1,50 m		
Altura total	5,10 m		
Altura útil	3,10 m		



Apéndice N. Espesadores de lodos. Adaptado de; Mora, 2020

Lecho de secado para lodos			
Estado	Nuevos	Deterioradas	Mal estado
	X		
Cantidad	veinticuatro (24) unidades		
Función	Deshidratación de lodos		
DATOS TECNICOS			
Tipo	Rectangular, abierto, heterogéneo		
Material	Muros en mampostería (ladrillos), piso en concreto Material (10 cm), columnas en concreto reforzado, cubierta en lámina y entramado con perfiles metálicos.		
Volumen útil	17 m ³ c/u.		
DIMENSIONES			
Longitud	2,50 m		
Ancho	2,50 m		
Altura útil	0,70 m		
Altura total lecho	1,10 m		
Altura total estructura	3,40 m		
DATOS EQUIPOS			
Tuberías y válvulas	Válvulas de mariposa y tuberías de PVC-UM para ingreso y tuberías de PVC-S para drenaje lixiviados		
Material filtrante	Lecho de grava de 0,40 m de granulometría ½" - ¾", y lecho de arena lavada de 0,30 m.		
Cajas de desagües	Diez cajas de desagües de 1,00x1,00 m para recolección de lixiviados y evacuación hacia el tratamiento preliminar.		



Apéndice O. Lecho de secado para lodos. Adaptado de; Mora, 2020.

Caseta de operación y control			
Estado	Nuevo	Deteriorada	Mal estado
	X		
Cantidad	Una (1) unidad		
Función	Área para preparación de muestras, tablero de control, alojamiento de laboratorio y baño		
DATOS TECNICOS			
Tipo	Rectangular, Cerrado, Heterogéneo		
Material	Mampostería, Concreto reforzado, y cubierta en lámina.		
DIMENSIONES			
Longitud	9,80 m		
Ancho	3,15 m		
Altura total	3,00 m		
DATOS COMPONENTES			

Cuarto laboratorio	De 3,80x2,85 m, piso en tablón de gres, mesón con lavaplatos, enchapado en cerámica, muros en ladrillo a la vista, y carpintería en aluminio anodizado, con baño enchapado con cerámica, con aparatos sanitarios de: lavamanos, sanitario y ducha.
Cuarto de control eléctrico	De 1,90x2,85 m, piso en tablón de gres, muros en ladrillo a la vista, y carpintería en aluminio anodizado.
Cuarto de planta eléctrica	De 3,50x2,85 m, piso en tablón de gres, muros en ladrillo a la vista, poyo en concreto (apoyo para la planta de generación de energía eléctrica), y carpintería en aluminio anodizado.
	

Apéndice P. Caseta de operación y control de la PTAR. Adaptado de; Mora, 2020.

Sistema eléctrico			
Se instaló un tablero de protección y control, completamente cableado de las siguientes características generales			
Estado	Nuevo	Deteriorado	Mal estado
	X		
Función	Alimentar todo el sistema de la planta		
ESPECIFICACIONES			

Fuerza: Breaker general dimensionado térmicamente con la sumatoria de corrientes nominales de los motores y por corto-circuito. Cada motor está alimentado a través de guardamotor para proteger por sobrecarga y cortocircuito, cada motor independientemente. Este reemplaza al breaker y al relé bimetálico y se dimensionó de tal forma que la corriente nominal del motor está dentro de su rango de regulación. Contactor dimensionado de acuerdo a la carga nominal del motor. La pareja guardamotor contactor es la combinación más eficiente actualmente, dado que las protecciones por sobrecarga y corto están implícitas en el mismo aparato, lo cual hace que se tenga una perfecta coordinación y la desconexión por falla es realizada directamente sobre la carga.



Apéndice Q. Sistema eléctrico. Adaptado de; Mora, 2020.

Apéndice R. Rejas de sólidos gruesos y desarenador.

A esta estructura llegan las aguas residuales domésticas del municipio de Puerto Gaitán. Se deberá retirar periódicamente los sólidos gruesos atrapados en las respectivas rejillas y material de arenas en los desarenadores. El material retirado deberá dejarse escurrir sobre las bandejas de recolección hasta que se tenga bastantes secos, en caso de desprendimiento de malos olores deberá aplicarse cal sobre el material retenido; mientras que para el retiro de las arenas se procederá a cerrar la compuerta de entrada al canal que será objeto de limpieza, y una vez esté sin flujo de agua, el operador ingresará al canal y efectuará el retiro de las arenas, a un costado del canal, donde se dejará también escurrir para su traslado al sitio de disposición establecido.

Cuando sea indispensable efectuar un mantenimiento completo a los canales del tratamiento preliminar, se realizará el cierre de la compuerta localizada en la cámara de alivio, lográndose así el aislamiento de toda la PTAR.

Se deberá estimar y registrar diariamente, la cantidad de sólidos retenidos en las rejillas gruesas. Anualmente debe realizarse un mantenimiento general que consistirá en reponer los daños superficiales físicos como golpes, ralladuras, corrosión, etc.

Apéndice S. Pozo de bombeo de recirculación.

Desde esta estructura se efectúa el bombeo del agua residual hacia los filtros percoladores. Así mismo, una parte del caudal tratado en los filtros es nuevamente enviado hacia este pozo. En esta unidad se encuentran alojadas tres bombas sumergibles, las cuales operarán alternadamente. Una para el caudal medio, mientras que la segunda arrancará cuando se supere este caudal, y la tercera para alternar las bombas en operación. Nunca deberá efectuarse el encendido y operación simultánea de las tres bombas sumergibles, debido a que los sistemas hidráulico y eléctrico no tienen la capacidad de resistir la alta carga del sistema de bombeo completo.

Debe tenerse especial atención a la operación de las bombas sumergibles (revisión diaria, funcionamiento alternado, y mantenimiento preventivo), para esto debe considerarse los grados de apertura en las válvulas de mariposa (salida de bombas) y válvulas de compuerta (ingreso de filtros percoladores) Diariamente deben verificarse las líneas de conducción, juntas (uniones soldadas, bridadas y Dresser), que no presenten fugas, y en caso contrario efectuar las correcciones del caso. Los montajes realizados han permitido que puedan desmontarse cualquier línea de bombeo sin dejar de funcionar las instalaciones de tratamiento, y en caso extremo (colapso total del sistema de bombeo), el pozo de bombeo cuenta con un rebose que permite descargar el efluente en el río Manacacías.

Anualmente debe realizarse un mantenimiento general en la estructura de concreto que consistirá en reponer los daños superficiales físicos como golpes, ralladuras, corrosión, etc.; en caso de afectar las paredes del pozo debe de forma inmediata resanarse y protegerse con una capa de Xypex concentrado o similar.

Apéndice T. Filtros percoladores.

Son estructuras que contienen un lecho de contacto compuesto por material de relleno en polipropileno, en el cual crece adherido una película biológica que efectúa la remoción de la materia orgánica; en dicha película ocurren zonas de descomposición aerobia, facultativa y anaerobia. El agua residual se vierte por encima del lecho, a través de un sistema de tuberías con boquillas rotatorias, que la distribuyen uniformemente, el agua cae por el filtro (relleno), y al llegar al drenaje, se recoge el agua tratada, con algunos sólidos desprendidos por absorción.

El distribuidor rotatorio que vierte las aguas residuales sobre el medio solo requiere atención en los siguientes aspectos: revisar que las boquillas no se taponen; lubricación del sistema de giro; y revisar que el tanque de carga no se rebose (para esto debe calibrarse la válvula de compuerta a la entrada de los filtros percoladores), y sellarse debidamente la tapa del tanque de carga.

El canal de drenaje de los filtros percoladores debe verificarse que esté libre de sólidos de gran tamaño, y en caso de presentarse obstrucciones deben eliminarse.

Apéndice U. Cámara de distribución de caudales.

En esta cámara se han instalado dos compuertas que permiten efectuar el ingreso del efluente de los filtros hacia los dos sedimentadores (una válvula para cada clarificador), y la segunda para la recirculación del flujo hacia el pozo de recirculación. Nunca debe efectuarse el cierre total de la compuerta de recirculación, ya que podría generar una sobrecarga de las líneas de entrada a los sedimentadores secundarios.

Se debe verificar periódicamente los caudales de salida y de recirculación, y tener cuidado en la lubricación de los tornillos de los vástagos de operación.

Anualmente debe realizarse un mantenimiento general en la estructura de concreto que consistirá en reponer los daños superficiales físicos como golpes, ralladuras, corrosión, etc.

Apéndice V. Clarificadores secundarios.

Corresponden a estanques de sedimentación en donde la suspensión floculenta sedimenta, creándose una interfase entre la masa de sólidos y el líquido sobrenadante ya clarificado. La concentración de los sólidos en el fondo dependerá del área superficial del clarificador, la cual es expresada en términos de la carga de lodos o un área unitaria de lodos. En estas unidades se logra la eliminación de los sólidos en suspensión que han sido arrastrados en los filtros.

El problema más común que se presenta en los sedimentadores seguidos de un tratamiento aeróbico es el del llamado lodo flotante. Este fenómeno es causado por la prolongación indebida del lodo en el clarificador. Como consecuencia de las condiciones anaerobias que se generan, comienza a ocurrir un proceso de desnitrificación, con la formación de pequeñas burbujas. Estas se adhieren al lodo del fondo, causando un fenómeno de flotación, que arrastra el lodo con el efluente. Este fenómeno se controla evacuando continuamente los lodos (apertura de compuerta de salida de lodos hacia el pozo de bombeo para lodos).

Apéndice W. Pozo de bombeo para lodos.

En esta estructura se han alojado dos bombas sumergibles con alta resistencia a la abrasión (bombeo de lodos), para impulsar los lodos secundarios hacia los dos espesadores de lodos e incluso para conducirlos hacia los ocho lechos de secado para lodos. La configuración de la línea de alimentación de lodos hacia los espesadores y a los lechos de secado, permite que pueda bombearse lodos hacia un espesador, o a dos de forma simultánea, e inclusive también de forma aislada o en sincronizada hacia cualquiera o al total los lechos de secado.

Durante el montaje de la línea de impulsión de lodos, se previó dejar una derivación hacia el pozo de bombeo inicial, para en caso de arranque inicial o re- arranque de la PTAR, pueda incrementarse la concentración del agua residual que ingresa a los filtros percoladores, para lograr así el aumento de la biomasa en el material filtrante.

Debe tenerse especial atención a la operación de las bombas sumergibles (revisión diaria, funcionamiento alternado, y mantenimiento preventivo), para esto debe considerarse los grados de

apertura en las válvulas de mariposa. Al menos de forma semanal debe efectuarse el drenaje de los lodos y limpiarse con agua diluida (incluso efluente de la PTAR), la línea de bombeo, para evitar atascamiento en la misma.

Apéndice X. espesadores de lodos.

La concentración de los lodos se llevará a cabo en una estructura en lámina de acero de ¼", con forma cilíndrica (zona superior) y cónica (zona inferior), el fondo del tanque estará inclinado a 60°. Los lodos espesados serán extraídos por el fondo del tanque mediante una tubería de $\phi 4$ " y conducidos, por gravedad, hacia las eras de secado. Se espera obtener lodos con una concentración final del 4%.

El concentrador o espesador de lodos tiene por propósito reducir el volumen de los lodos, disminuyéndose el contenido de humedad de éstos. Una vez los lodos se hayan espesado, éstos pasan hacia los lechos de secado para su deshidratación y posterior evacuación final. Debe recibir atención operacional frecuente.

Apéndice Y. Lecho de secado para lodos.

Con el fin de disminuir más la humedad contenida en los lodos se efectuará la deshidratación de éstos, para alcanzar concentraciones finales superiores al 25%, para lograr una facilidad en su manipulación, transporte y evacuación final. Los lechos o eras de secado son áreas donde son vertidos los lechos procedentes de los espesadores de lodos; los lodos son colocados sobre un medio permeable, constituido por capas de grava y arena, el fondo de los lechos está formado por tuberías colectoras perforadas que permiten realizar el drenaje de los lechos. El lixiviado que se origina, es retornado a la cabeza del proceso (pozo de bombeo y de recirculación).

La profundidad del lodo suele variar entre 0,05 y 0,20 m, siendo los valores más altos los correspondientes a épocas calurosas. Una vez deshidratado el lodo se retira manualmente para su disposición como abono agregando cal o para enterrar en relleno sanitario. El tiempo de secado puede variar de 2 a 8 días, los cuales serán retirados en forma alternada.

Apéndice Z. Control de equipos electromecánicos.

Los equipos de agua residual y gas cloro son controlados desde el tablero eléctrico y su encendido y apagado se hace con un botón, el cual tiene 3 posiciones (manual, apagado y automático).

En automático las bombas sumergibles son prendidas o apagadas por señales enviadas desde los sensores de nivel. Los controles de nivel en posición alta, prenden la bomba sumergible correspondiente cuando el switch de ésta se encuentra en automático. Los controles de nivel bajo, apagan las bombas cuando el switch está en automático. En la posición manual el control de operación (encendido o apagado), depende del operador.

El operador debe verificar periódicamente que los sensores de nivel estén funcionando adecuadamente, para esto se verifica manualmente (moviendo el sensor hacia arriba o hacia abajo), cuando se tenga alguna duda al respecto. Así mismo, es necesario revisar la posición de las válvulas de control de flujo y la presión que registren los manómetros.

Cada 6 meses deben comprobarse todos los dispositivos de arranque para tener la seguridad de que el elemento interruptor funciona libremente y ofrece protección al motor.