



POSGRADOS

Maestría en

RECURSOS HÍDRICOS [con Mención en Gestión e
Ingeniería de Agua Potable y Saneamiento]

RPC-SE-03-NO.041-2020

Opción de Titulación:

[Informes de investigación]

Tema:

[Evaluación y dimensionamiento de la repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del barrio La Libertad, parroquia San Luis, cantón Riobamba.]

Autor(es)

[Bryan Fabricio Arellano Amaguaya]

Director:

[Renato Sánchez Proaño]

[QUITO] – Ecuador

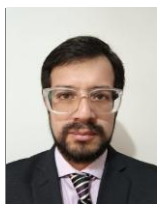
2025

Autor(es):



Bryan Fabricio Arellano Amaguaya
Ingeniero Ambiental
Candidato a Magíster en Recursos Hídricos con Mención en Gestión
e Ingeniería de Agua Potable y Saneamiento por la Universidad
Politécnica Salesiana – Sede Quito.
Fabricio.ba97@gmail.com

Dirigido por:



Renato Sánchez Proaño
Ingeniero Ambiental
Master en Economía Ecológica
rsanchezp@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

[2024] © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA

Bryan Fabricio Arellano Amaguaya

EVALUACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LA REPOTENCIACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL BARRIO LA LIBERTAD, PARROQUIA SAN LUIS, CANTÓN RIOBAMBA.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, en especial a mi hermana Karen y a mi madre Patricia, por ser el pilar fundamental de mi vida, fuente constante de inspiración y apoyo incondicional. Gracias por brindarme, cada día, nuevos bríos para continuar con la labor encomendada en busca de un bien mayor.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme culminar con éxito mi posgrado, brindándome sabiduría y el conocimiento transmitido por todos los docentes, cuyas experiencias han nutrido mi crecimiento profesional. Finalmente, extendiendo mi agradecimiento al Dr. Cachipundo por abrirme las puertas del programa de estudios que tanto anhelaba, así como a la Universidad Politécnica Salesiana por su excelente gestión y por contar con profesionales de gran calidad humana y amplia experticia.

Tabla de Contenido

Resumen	8
Abstract.....	9
1. Introducción.....	10
2. Determinación del Problema.....	12
3. Marco teórico referencial.....	15
3.1. Aguas residuales	15
3.2. Caracterización de aguas residuales.....	15
3.3. Procesos de tratamiento de aguas en PTAR.....	17
3.3.1. Tratamiento Primario	17
3.3.2. Tratamiento Secundario	18
3.3.3. Tratamiento Terciario	19
3.3.4. Aspectos técnicos y operativos de la PTAR	20
3.4. Análisis topográfico e hidrológico	20
4. Materiales y metodología.....	22
4.1. Localización.....	22
4.2. Materiales y equipos	23
4.3. Diagnóstico de la capacidad operativa y estado físico	23
4.3.1. Obtención y análisis de documentación	23
4.3.2. Medición del caudal de entrada.....	23
4.3.3. Capacidad operativa de los componentes	24
4.3.4. Inspección del estado actual de la PTAR	26
4.4. Análisis del desempeño de depuración de la planta.....	26
4.4.1. Toma y manejo de muestras de agua	26
4.4.2. Análisis físico-químicos y microbiológicos.....	27
4.4.3. Comparación con la normativa vigente.....	27
4.5. Diseño de propuesta de repotenciación de la PTAR	27
4.5.1. Dimensionamiento de componentes para repotenciación.....	27
4.6. Consideraciones éticas	36
5. Resultados y discusión.....	37
5.1. Diagnóstico de capacidad operativa y estado físico.....	37

5.1.1.	Proceso de tratamiento actual	37
5.1.2.	Capacidad operativa actual	37
5.1.3.	Estado físico actual	39
5.2.	Desempeño de depuración	41
5.2.1.	Análisis de parámetros físico-químicos y biológicos	41
5.2.2.	Análisis de la DQO.....	42
5.3.	Dimensionamiento de la planta repotenciada	43
5.3.1.	Rejillas.....	44
5.3.2.	Sedimentador primario	45
5.3.3.	Trampa de grasa	45
5.3.4.	Tanque aireador por difusores	46
5.3.5.	Lodos activados	47
5.3.6.	Desinfección UV.....	47
5.3.7.	Lechos de secado.....	48
5.3.8.	Análisis topográfico	49
5.4.	Comparativa entre la PTAR actual y la PTAR repotenciada	51
5.5.	Discusión.....	52
6.	Conclusiones.....	55
	Referencias	56
	Anexos	60

|

Evaluación y dimensionamiento de la repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del barrio La Libertad, parroquia San Luis, cantón Riobamba.

Autor:

BRYAN FABRICIO ARELLANO AMAGUAYA

Resumen

[La repotenciación y evaluación de la planta de tratamiento del barrio La Libertad, San Luis de Riobamba aborda conocimientos de hidráulica, geografía y principalmente de tecnologías del agua, para afrontar la problemática de depuración efectiva para la descarga en el río Guano. El objetivo de la investigación fue evaluar y dimensionar la repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del barrio La Libertad, parroquia San Luis, cantón Riobamba. Como fundamento teórico-metodológico, se emplearon principios del diseño de plantas de tratamiento basados en la bibliografía especializada, además de normas nacionales e internacionales sobre calidad del agua, procesos biológicos y tecnologías de tratamiento avanzadas. El trabajo se realizó a través de una evaluación técnica integral que incluyó el diagnóstico de las condiciones actuales, la caracterización de las aguas residuales mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, el cálculo y dimensionamiento de nuevas unidades operativa. Como principales resultados, se determinó que los parámetros actuales de descarga exceden los valores permitidos, se destaca que el rediseño basado en el aprovechamiento del perfil topográfico y la implementación de tecnologías probadas a nivel nacional e internacional, hacen técnicamente viable y económicamente sostenible la repotenciación de la planta, lo que contribuiría significativamente a la protección ambiental y la salud pública en la zona de influencia.

Palabras clave:

Agua residual, Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), Repotenciación, Análisis físico-químicos y microbiológicos, Cambio de tecnología.]

Abstract

The repowering and evaluation of the wastewater treatment plant in the La Libertad neighborhood, San Luis de Riobamba, addresses knowledge of hydraulics, geography and mainly water technologies, to address the problem of effective purification for discharge into the Guano River. The objective of the research was to evaluate and dimension the repowering of the Wastewater Treatment Plant of La Libertad neighborhood, San Luis parish, Riobamba canton. As a theoretical and methodological basis, principles of treatment plant design based on specialized literature were used, in addition to national and international standards on water quality, biological processes and advanced treatment technologies. The work was carried out through a comprehensive technical evaluation that included the diagnosis of current conditions, the characterization of wastewater through the analysis of physicochemical and microbiological parameters, and the calculation and sizing of new operating units. As main results, it was determined that the current discharge parameters exceed the permitted values, it is highlighted that the redesign based on the use of the topographic profile and the implementation of proven technologies at national and international level, make the repowering of the plant technically feasible and economically sustainable, which would contribute significantly to environmental protection and public health in the area of influence.

Key Words:

Wastewater, Wastewater treatment plant (WWTP), Repowering, Physico-chemical and microbiological analysis, Technology change.design.

1. Introducción

[El adecuado manejo del agua como recurso es uno de los retos más apremiantes a escala global a raíz del incremento de la población, ampliación de la actividad económica y el incremento en la contaminación de los cuerpos receptores. Por lo tanto, el tratamiento adecuado de las aguas servidas es una de las principales formas de asegurar la vida de los cuerpos de agua, la salud de las personas y el cumplimiento de la legislación vigente ambiental (Marticorena, 2021). Sin embargo, en países de Latinoamérica, las aguas residuales suelen ser vertidas sin tratamientos eficaces debido a que las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se encuentran en mal estado o abandonadas debido a su insuficiencia tanto de recursos económicos como de capacidad operativa (Salcedo, 2025). (Saravia y otros, 2022).

En Ecuador, diversas PTARs presentan limitaciones operativas y tecnológicas, lo que se refleja en un bajo rendimiento, capacidad de depuración limitada y deficiencias en la infraestructura, comprometiendo la calidad del efluente descargado y generan impactos ambientales negativos (Torske, 2019). De acuerdo a lo anterior, el barrio La Libertad de la parroquia San Luis del cantón Riobamba cuenta con una PTAR cuyas condiciones presentan problemas de tipo técnico y de gestión que degradan su operación y, con ello, provocan un impacto adverso en el medio ambiente. Además, la infraestructura y capacidad original no resulta ser suficiente para poder cubrir la demanda existente, por lo que es necesario modificar y acondicionar la misma.

Ante esta situación, la repotenciación de la PTAR mediante la sustitución de la tecnología obsoleta por un sistema moderno basado en lodos activados se presenta como una intervención prioritaria. Este enfoque permite mejorar la eficiencia del tratamiento biológico, asegurar la remoción de contaminantes y garantizar que el efluente cumpla con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente.

La implementación de esta estrategia técnica no solo protege a la comunidad y a los cuerpos de agua receptores, sino que también contribuye al cumplimiento de compromisos internacionales relacionados con la gestión sostenible del agua y el saneamiento, particularmente el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6: Agua limpia y saneamiento) (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2019).

2. Determinación del Problema

El inadecuado tratamiento de las aguas residuales es uno de los problemas ambientales más considerables en Ecuador. Como informa Torske (2019), aproximadamente el 88 % de las aguas en el país en cuestión no se tratan de la manera adecuada. La destrucción directa de los ecosistemas acuáticos desde la flora y la fauna demás especie hasta los propios cuerpos hídricos es una consecuencia de este fenómeno amenazando a la sostenibilidad ambiental y la salud de la población.

En la ciudad de Riobamba, la gestión del recurso hídrico se encuentra en un proceso de transición, las autoridades han apoyado con presupuesto, eventos de socialización para que los pobladores sean informados (Local Consult, 2020). Sin embargo, los proyectos orientados al tratamiento de aguas residuales son aún insuficientes. Tal como señala el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de San Luis (2019-2023), las plantas de tratamiento existentes enfrentan dificultades técnicas, operativas y de mantenimiento, lo que compromete su sostenibilidad y su eficiencia a lo largo del tiempo.

En este contexto, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del barrio La Libertad, localizada en la parroquia San Luis del cantón Riobamba que fue construida en el año 2003 por la Empresa Municipal de Agua Potable de Riobamba (EMPAR) presenta limitaciones para un adecuado funcionamiento. La capacidad inicial de la PTAR fue diseñada para tratar las aguas residuales generadas por una población de 8.400 habitantes, sin embargo, actualmente, la población del sector es de más de 20.000 personas (Lokal Consult, 2020), situación que ha emanado en un mayor caudal de aguas residuales, lo que supera la capacidad de operativa de la planta.

Además de lo antes mencionado, existen problemas operativos críticos en la PTAR. La planta opera sin personal capacitado, sin mantenimiento preventivo ni

correctivo, con problemas estructurales y un diseño que impide una correcta depuración del agua. A esto se suma la presencia de residuos sólidos provenientes del faenamiento, como vísceras y plumas, que se depositan dentro de las tuberías y bloquean el paso del agua y de los lodos. Los análisis fisicoquímicos realizados demuestran que la depuración es prácticamente nula, por cuanto, no se cumplen los parámetros exigidos por la normativa nacional para la descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce que reciben los vertidos de la planta, como ocurre con el río Guano el cual es el receptor directo del vertido de la planta.

Esta situación no solo se convierte en una amenaza directa contra la salud pública y la biodiversidad acuática, sino que también impone responsabilidades ambientales y legales a las organizaciones responsables de la gestión de los servicios de saneamiento. Por lo tanto, se requiere un plan de repotenciación que extienda la vida útil del sistema, mejore su eficiencia y garantice el cumplimiento normativo.

La repotenciación implementada significará un aumento del servicio de la planta de 20 años más beneficiando directamente a la población local, a EMAPAR como entidad gestora, y a los habitantes de Riobamba en general, al reducir los impactos negativos en el río Guano. Además, este trabajo de investigación busca ser un respaldo técnico-científico para futuros planes de rehabilitación y expansión de plantas de tratamiento similares en zonas urbanas intermedias.

Delimitación espacial

El trabajo de titulación se desarrolló en la PTAR del barrio La Libertad, ubicado en la parroquia San Luis del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. La PTAR cuenta con un área de 322 m² y capta aproximadamente el 90% del caudal doméstico combinado de la parroquia. La escala del proyecto es de nivel medio porque se trabajó en la zona de estudio exclusivamente.

Delimitación temporal

El trabajo de titulación se delimita temporalmente al período 2024-2025.

Formulación del problema

¿Se podría implementar a la infraestructura construida en la PTAR procesos modernos que mejoren el cumplimiento de la normativa vigente de descarga a cuerpos de agua dulce?

Objetivos

Objetivo general

Evaluar y dimensionar la repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del barrio La Libertad, parroquia San Luis, cantón Riobamba, para garantizar que las aguas tratadas cumplan con la normativa vigente

Objetivos específicos

1. Determinar la capacidad máxima operativa y estado físico actual de la PTAR, mediante el análisis de información técnica proporcionada por EMAPAR, complementada con visitas técnicas.
2. Evaluar el desempeño del proceso de depuración de la PTAR a través del análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicas en las diferentes etapas del tratamiento.
3. Diseñar los componentes necesarios para la repotenciación de la PTAR considerando el manejo de residuos sólidos, tratamientos biológicos y tecnologías accesibles y económicas, para alcanzar la eficiencia requerida por la normativa.

3. Marco teórico referencial

3.1. Aguas residuales

Las aguas residuales son una clase de agua empleada por las personas en varias actividades que pueden contener contaminantes físicos, químicos o biológicos que pueden alterar los ecosistemas y representan riesgos para salud humana. Estos contaminantes difieren en función de su origen, lo que requiere un procedimiento de tratamiento particular para cada tipo, con el propósito de disminuir su impacto ambiental (Salcedo, 2025).

Entre los principales efectos de contaminación de la descarga de aguas residuales no tratadas destacan:

- Toxicidad: producida principalmente por compuestos antrópicos y de gran concentración en la vertiente (Osorio Rivera et al., 2021).
- Infecciones: son ocasionadas por los microorganismos presentes en el agua sucia de cualquier tipo (Osorio Rivera et al., 2021).
- Contaminación térmica: están presentes en los efluentes de industrias que emplean químicos produciendo reacciones exotérmicas afectando la temperatura normal (Osorio Rivera et al., 2021).
- Malos olores: son producidos por la interacción de microorganismos descomponedores y la materia orgánica (Osorio Rivera et al., 2021).

3.2. Caracterización de aguas residuales

La caracterización de las aguas residuales permite identificar los contaminantes presentes para seleccionar adecuadamente el tratamiento por aplicar. Los principales parámetros que se analizan son:

DBO5: por sus siglas abreviadas es Demanda Bioquímica de Oxígeno, el cual representa la cantidad de oxígeno disuelto de origen biológico en el agua medida principalmente en miligramos por cada litro (Salcedo, 2025).

DQO: abreviado de Demanda Química de Oxígeno, el cual es la cantidad de oxígeno disuelto de origen químico o biológico, igualmente se mide en miligramos por cada litro (Salcedo, 2025).

Sólidos disueltos totales: son las partículas disueltas en el agua que pueden ser sedimentables o no. No son deseables de ningún tipo, se deben retener para asegurar una mayor calidad (Salcedo, 2025).

pH: el potencial de hidrógeno mide la acidez o basicidad de un agua en una escala numérica, tomando en consideración la neutralidad en 7 el cual es el pH del agua en condiciones normales. Si se reduce de 7 es más ácido y si se aumenta de 7 es más base (Salcedo, 2025).

Fósforo total: comprende todas las formas de fósforo en el agua (ortofosfatos, fosfatos condensados como piro-, meta-, otros poli fosfatos y fosfatos orgánicos). No son deseados en cantidades mayores a 4 mg/l (Salcedo, 2025).

Nitrógeno: en el agua residual se dividen en orgánico y amoniacal (nitrato y nitrito). Los procesos biológicos (primario y secundario) tienen el objeto de reducir al estado más inocuo, en nitrito. Por lo general se encuentran en grandes cantidades en las aguas residuales (Salcedo, 2025).

Aceites y grasas: son parte de un amplio rango de aguas servidas (industriales y urbanas), son retenidos en las trampas de grasa, en grandes cantidades pueden representar un problema porque se aglomeran en capas o bolas en tubería ocasionando obstrucción (Salcedo, 2025).

Coliformes fecales y totales: son los microorganismos patógenos provenientes de seres vivos y de otras fuentes que se encuentran en las aguas servidas, es necesario

eliminarlos por completo porque pueden ocasionar daños a la salud (Salcedo, 2025).

Metales pesados: no son tolerables en ninguna cantidad y deben ser tratados con urgencia mediante ósmosis o procesos químicos, ya que pueden causar enfermedades catastróficas o inclusive la muerte (Salcedo, 2025).

3.3. Procesos de tratamiento de aguas en PTAR

Una planta de Tratamiento de Aguas Residuales es un sistema que utiliza procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar los contaminantes del agua, lo que permite que sea reutilizada o que se descargue al ambiente de manera segura y respetuosa, sin exceder los límites permitidos por la ley en términos de calidad del agua vertida al cuerpo receptor (Molina & Quille, 2024). Las plantas Tratamiento de aguas residuales se componen principalmente de las siguientes etapas (Metcalf & Eddy, 2014):

3.3.1. Tratamiento Primario

El propósito de esta etapa es disminuir del material en suspensión, a excepción del material coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua, turbidez y parte de la materia orgánica. Además, implica airear el agua y sedimentar partículas más finas que la componen, siendo posible además la eliminación de una pequeña fracción de contaminación bacteriológica. De esta manera, el tratamiento primario permite quitar entre el 60 a 65% de sólidos sedimentables y hasta un 30 a 35 % de sólidos suspendidos presentes en el agua residual (Vega, 2024).

Cribado o rejillas

Su función es retener la mayor cantidad de sólidos gruesos o finos según el diseño que se opte y se considere según el origen del agua residual. Para que sea efectivo el funcionamiento, el caudal de entrada debe tener una velocidad máxima de 0,6 m/s, además es necesario realizar un mantenimiento según sus medidas y tipo de rejilla, las cuales pueden ser de autolimpieza en el cual se hace un vaciado del

contenedor con más tiempo, o manuales que podrían requerir hasta una limpieza diaria. Los materiales que se pueden usar son el hierro fundido, aluminio o aleaciones para evitar el pronto desgaste de la criba (Asqui, 2023).

Sedimentador primario

Es aquella remoción de sólidos suspendidos y sedimentables mediante acción de la gravedad, para lo cual el agua a tratar debe estar a una velocidad muy baja, su geometría consiste en un tanque con tolva para que los sólidos se acumulen puntualmente para ser removidos. Se puede lograr reducir en gran cantidad los sólidos suspendidos totales y por lo general se hacen en aguas con alta turbiedad (Vega, 2024).

Trampas de grasa

Es un tanque que mediante una pared en su interior causa presión en el agua haciendo que precipite las grasas en una capa superior y por dicha presión el agua menos densa pase al otro lado y sea conducida por una tubería para el siguiente tratamiento. Su diseño no presenta complicaciones y es aplicable a cualquier nivel de proyecto (Ayquipa, 2021).

3.3.2. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario tiene como finalidad la eliminación de la materia orgánica biodegradable que no sedimentan, en este proceso intervienen microorganismos que asimilan la materia orgánica y comienzan a degradarla, exclusivamente es un proceso biológico tanto aerobio como anaerobio. (Ramalho, 1996 citado en Asqui, 2023).

Lodos activados

Es el principal tratamiento biológico empleado mundialmente ya que, con un adecuado sistema primario, secundario y en ocasiones terciario puede tener una remoción de hasta el 90% de DQO y DBO. Consta de un tanque aireador en secuencia de un tanque anóxico en el cual están las bacterias biodegradantes, éstas

a su vez producen lodos que pueden ser recirculados al tanque aireado para aprovechar al máximo la capacidad biodegradable. Los lodos producidos deben ser removidos según el diseño para que no afecte a los microorganismos. En ocasiones se pueden hacer varios procesos de lodos activados para remover otros elementos como el fósforo y los nitratos a nitritos, dependerá de la normativa vigente que se requiere aprobar en relación con las condiciones del agua tratar. También se pueden hacer el proceso de alta carga que es más pequeño, pero se reduce su remoción a la mitad y que es necesario añadir un proceso terciario que elimina casi por completo la carga orgánica con una recirculación (EFCN, 2024).

3.3.3. Tratamiento Terciario

Es un tratamiento complementario con los demás tratamientos que busca alcanzar efluentes más puros, con menor carga contaminante y que puede volver a ser usado para diferentes actividades. Los sistemas de tratamiento de agua terciarios permitan la remoción de micro contaminantes y, por lo tanto, la reutilización y el cumplimiento de las normas en la descarga de efluentes (Asqui, 2023).

Desinfección ultravioleta

Este proceso desinfecta el agua según las condiciones físico-químicas del agua en concordancia con los parámetros de diseño. La principal ventaja es que previene bacterias y patógenos sin el uso de compuestos químicos, no requiere una dosis o monitoreo de las condiciones de aguas residuales, su diseño es muy simple porque viene estandarizado por los proveedores. Consiste en un canal que circula agua clara (es importante que sea una turbidez baja para alcanzar la profundidad donde están los microorganismos) (Vergara, 2021).

Lechos de secado

Son sistemas de poca profundidad con inclinación que sigue el agua de los lodos por gravedad a un conducto común para ser añadida al caudal. Puede tener medios filtrantes en el fondo para mayor efectividad de secado, sus medidas se diseñan de acuerdo a la cantidad de lodos producidos en la planta (Valle González et al., 2020).

3.3.4. Aspectos técnicos y operativos de la PTAR

Capacidad y eficiencia de PTAR: son dos componentes que vislumbran el estado de funcionamiento de la planta construida, para lo cual se considera tanto geometría de los componentes como los resultados de los análisis físico-químicos y biológicos realizados durante la evaluación. Estos aspectos permiten determinar el grado de eficacia en la depuración y las máximas cargas contaminantes que pueden ser tratadas en la PTAR. Estos dos parámetros se van reduciendo con el pasar de los años del período de diseño, que generalmente oscila entre los 15 a 40 años. Por tanto, es necesario verificar qué etapa del ciclo de vida se encuentra para tomar medidas oportunas que prevengan interrupciones en su funcionamiento (Martínez & Andrés, 2025).

Mantenimiento y dotaciones: es necesario considerar en el diseño de los tratamientos el tiempo de mantenimiento y concentraciones químicas o biológicas que se deban aplicar para evitar daños tanto en el funcionamiento de la PTAR como en la calidad del efluente (Andrés García Toscano & Alejandra Villamar Ayala, 2018).

3.4. Análisis topográfico e hidrológico

Ambos aspectos son considerados para la ubicación de procesos de depuración de agua, la topografía nos indica la forma del terreno para obtener pendientes, lo cual naturalmente una pendiente negativa es lo mejor, así el sistema no necesitaría de bombas de presión como medio de circulación de las aguas servidas en toda la planta de tratamiento, además el análisis hidrológico, es decir la hidrostática nos ayuda a calcular presiones de entrada por gravedad, y la hidrodinámica determina las pérdidas de líquido en tubería, accesorios y por pendiente, lo cual es importante si se quiere determinar una bomba de presión o de retorno para una recirculación. Ya que si se parte solo de las presiones existentes se puede cometer el error de colocar una bomba muy potente lo cual ocasiona ruptura de tuberías, cavitación o daños a la bomba inclusive podría dejar de funcionar, al contrario, si se coloca una bomba de baja potencia, no bombeará el fluido, se obstruye y el consumo energético será mayor debido a que se trabaja a su máxima potencia. Además, que

ambos campos de estudio se complementan en el área de proyectos de saneamiento de agua, es una evaluación que se hace antes de la construcción para abaratar costos y mano de obra (Salas, 2021).

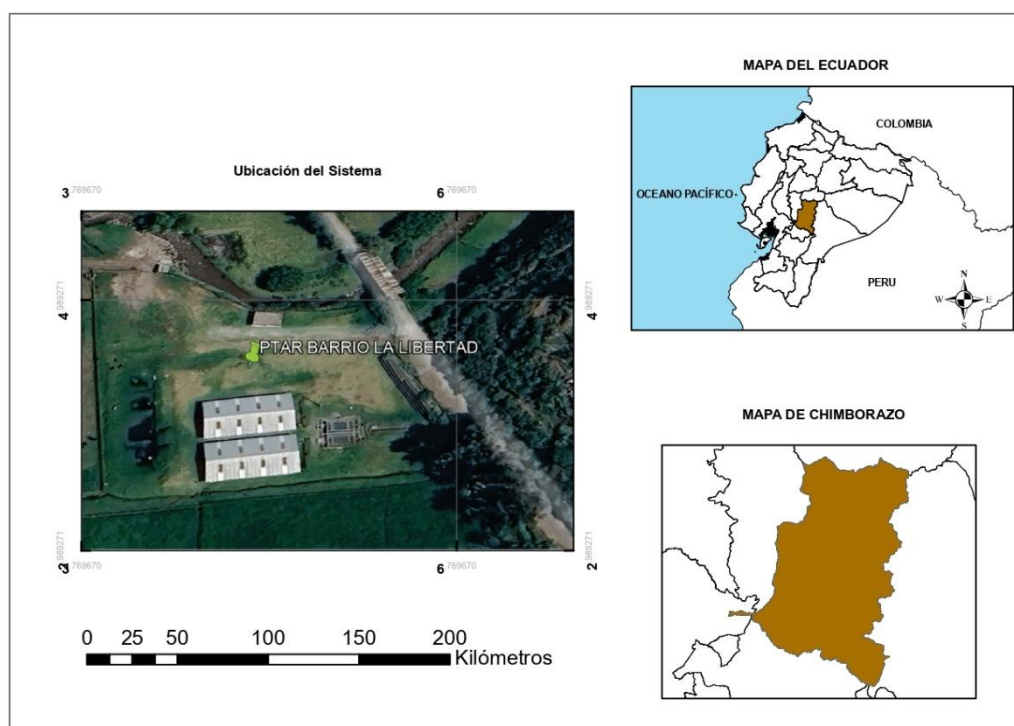
4. Materiales y metodología

4.1. Localización

La presente investigación se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del barrio La Libertad, ubicada en la parroquia San Luis, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador. Esta planta es operada por EMAPAR (Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba) y fue construida inicialmente en 2003 con una vida útil proyectada de 20 años. En la figura 1 se presenta el mapa de ubicación de la PTAR.

Figura 1.

Ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales



Nota: Mapa de ubicación de la PTAR del barrio La Libertad.

4.2. Materiales y equipos

Se utilizaron los planos civiles de la PTAR proporcionados por EMAPAR para conocer su estructura. En campo, se midió el caudal con un caudalímetro calibrado y se georreferenció la ubicación con GPS. Las muestras de agua se recogieron en frascos de 2,7 litros, conservadas en cooler con hielo para su transporte. Se aplicaron equipos de protección personal durante el muestreo. Los análisis físico-químicos y microbiológicos se realizaron utilizando reactivos e instrumentos especializados. Además, se documentó el estado físico de la planta con fotografías durante las inspecciones.

4.3. Diagnóstico de la capacidad operativa y estado físico

4.3.1. Obtención y análisis de documentación

Se solicitó a EMAPAR la documentación técnica correspondiente a la PTAR del barrio La Libertad, específicamente los planos civiles elaborados en 2003. Estos planos, presentados en el Anexo 1, sirvieron como referencia para conocer las dimensiones y características físicas originales de la planta.

4.3.2. Medición del caudal de entrada

El caudal máximo que ingresa a la planta se determinó midiendo con un caudalímetro calibrado a las horas pico según las especificaciones del fabricante, mostradas en el Anexo 2. El horario punta se utiliza para este análisis ya que equivale a las condiciones de máxima demanda hidráulica, lo cual garantiza la representatividad del dato para el análisis hidráulico y diseñado.

Cálculo del caudal actual

Datos:

$$v_{max} = 1,4 \frac{m}{s} = 4,6 \frac{ft}{s}$$

$$\Phi_{tubería\ ext.} = 40\ cm = 1,31\ ft$$

$$H_{max.agua} = 6\ cm = 0,2\ ft$$

$$Espesor_{tubería} = 1,5\ cm = 0,05\ ft$$

$$\Phi_{interno} = 38,5\ cm = 1,26\ ft$$

Fórmulas:

$$C = \frac{H_{max.agua}}{\Phi_{tubería}}$$

$$A = C \times D$$

$$CFS = A \times v_{max}$$

$$Q = CFS \times \frac{28,32\ L}{1ft^3}$$

4.3.3. Capacidad operativa de los componentes

En esta sección se presentan las dimensiones y cálculos relacionados con la capacidad operativa de los principales componentes de la planta, específicamente el tanque Imhoff y el filtro anaerobio, con el fin de determinar su volumen y caudal de diseño para evaluar su desempeño actual.

Tanque Imhoff

Datos

Tabla 1.

Dimensiones del tanque Imhoff

Parámetro	Medida
Largo (L)	9 m
Profundidad (P)	5,08 m

Ancho (A)	2,93 m
Tolba a 45° (T)	1,84 m
Hipotenusa (H)	4,05 m
Cateto (C)	1,84 m

Nota. Datos de dimensión utilizados para el cálculo del caudal.

Cálculo

$$V_1 = L * P * A$$

$$V_2 = \frac{C * T}{2} * P$$

$$V_T = (V_1 + V_2) * 2$$

$$Q = \frac{V_T}{T_R}$$

Filtro anaerobio

Datos

Tabla 2.

Dimensiones del filtro anaerobio

Parámetro	Medida
Largo (L)	6,3 m
Ancho (A)	6,4 m
Profundidad (P)	2,25 m

Nota. Datos de dimensión utilizados para el cálculo del caudal.

El tiempo de retención considerado es de 96 horas (3 días mínimo)

Cálculo

$$V_T = L * P * A$$

$$Q = \frac{V_T}{T_R}$$

4.3.4. Inspección del estado actual de la PTAR

Se realizó una visita técnica de inspección para evaluar el estado físico y estructural de la planta. Durante la visita se documentó el estado de los principales componentes mediante fotografías y registros descriptivos, lo que permitió identificar signos de desgaste, daños o deterioro que puedan afectar el funcionamiento óptimo de la PTAR.

4.4. Análisis del desempeño de depuración de la planta

4.4.1. Toma y manejo de muestras de agua

El muestreo se llevó a cabo con un método volumétrico modificado llevado a cabo en tres puntos diferentes dentro del sistema de tratamiento de la planta, la entrada de aguas servidas, la salida del tanque Imhoff y la salida final de la planta de tratamiento. El muestreo se realizó durante cinco días consecutivos empleando muestreo compuesto para garantizar la fiabilidad de los datos.

Cada día se tomaron cinco muestras puntuales en intervalos regulares entre las 7:00 y las 15:00 horas, horario correspondiente a la mayor actividad y consumo en el sistema. Estas muestras puntuales se combinaron en un solo envase de 2.7 litros, dividiendo el volumen total proporcionalmente para cada alícuota, con el fin de obtener una muestra compuesta que reflejara las variaciones diarias del sistema tal como lo indica (Sette Ramalho, 2021).

Para la recolección, se utilizaron envases estériles adecuados, los cuales fueron almacenados y transportados en un cooler con hielo para mantener la temperatura entre 4 y 8 °C, evitando así la biodegradación o alteración de los parámetros analíticos.

4.4.2. Análisis físico-químicos y microbiológicos

Las muestras recolectadas fueron analizadas en el laboratorio de calidad del agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) y en el laboratorio certificado Lacquanálisis S.A. Los parámetros evaluados incluyeron DBO, DQO, pH, conductividad, sólidos totales, fósforo total, nitritos, nitratos, coliformes fecales y totales. Se aplicaron métodos normalizados, tales como los establecidos por la “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 2017).

4.4.3. Comparación con la normativa vigente

Se realizó una comparación de los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos y microbiológicos del efluente tratado con los límites máximos permitidos para vertimientos a cuerpos de agua dulce, establecidos en la Tabla 9 del Acuerdo Ministerial N° 097 emitido por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (ver Anexo 3).

Este análisis permitió evaluar el grado de cumplimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del barrio La Libertad frente a la normativa ambiental vigente, identificando parámetros que se encuentran dentro o fuera de los rangos permitidos.

4.5. Diseño de propuesta de repotenciación de la PTAR

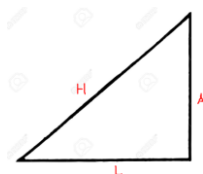
4.5.1. Dimensionamiento de componentes para repotenciación

Una vez establecida el área útil de trabajo, se dimensionaron los nuevos componentes de la planta considerando tanto los datos del caudal medido experimentalmente como los resultados de calidad de agua obtenidos durante la fase de diagnóstico. El redimensionamiento se fundamentó en criterios técnicos establecidos en literatura especializada (Metcalf & Eddy, 2014). Los procesos seleccionados para la repotenciación incluyeron las siguientes unidades:

Rejillas o cribado

El dimensionamiento del sistema de cribado se lleva a cabo mediante el cálculo de dimensiones y cantidad de barrotes para la retención de sólidos gruesos, asegurando que el flujo hacia las unidades posteriores de la planta sea apropiado.

Primero, se definió la longitud de los barrotes usando la relación trigonométrica de un triángulo rectángulo, considerando que la inclinación típica (θ) varía entre 45° y 60° (Sette Ramalho, 2021).



$$H = \frac{A}{\text{Sen}(\theta)}$$

La altura de las rejillas se definió de acuerdo con la altura del canal de afluente, mientras que el número de barrotes se calculó dividiendo el ancho del canal entre la suma del espesor del barrote y el espacio entre ellos, usando como referencia los valores típicos de la Tabla 3.

Tabla 3.

Valores típicos de rejillas

Ancho del canal (b), en cm	40; 50; 60; 80; 100; 125; 160; 180; 200; 225; 250.
Separación entre barras (e), en cm.	2; 3; 4; 5; 6; 8; 10.

Fuente: (Chimbolema, 2017).

Datos:

- $Q = 12,14 \frac{L}{s} \times \frac{1m^3}{1000 L} = 0,01214 \frac{m^3}{s}$
- $\varnothing_{tubería} = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$
- $Ancho \text{ del Canal} = 40 \text{ cm} + 0.2 \text{ cm} = 42 \text{ cm} = 0,42 \text{ m}$
- Tiempo de mantenimiento = C = 24 h
- Tiempo de retención hidráulico = 1 s

- Altura de criba = 0,9 m
- Espesor de varilla = 1 cm = 0,01 m
- Espacio entre varillas = 1,5 cm = 0,015 m

Número de varillas:

$$\# \text{ varillas} = \frac{\varnothing_{\text{tubería}}}{\text{Espesor de varilla} + \text{Espacio entre varilla}}$$

Área transversal:

$$\text{Área} = \pi \times \left(\frac{\varnothing_{\text{tubería}}}{2} \right)^2$$

Volumen requerido:

$$Q = \frac{V}{t \text{ de ret.}}$$

$$\text{Si: } V = \text{Área} \times \text{Altura}_{\text{agua}}$$

Altura de agua:

$$\text{Altura}_{\text{agua}} = \frac{Q}{\text{Área}}$$

Sedimentador primario

Para el diseño del sedimentador primario se consideraron las características del agua residual y el caudal del sistema, aplicando las siguientes fórmulas.

Datos:

- $SST = 751,13 \frac{mg}{L} \times \frac{1 mL}{1000 mg} = 0,7513 \frac{mL}{L}$
- $t_{\text{óptimo}} = 31 \text{ min}$
- $Q = 0,01214 \frac{m^3}{s} \times \frac{86400 s}{1d} = 1048,9 \frac{m^3}{d} = 1049 \frac{m^3}{d}$
- $L = ?$

- $a = ?$
- $h = ?$

Volumen:

$$V = Q \times t$$

Dimensiones geométricas:

$$L = 2a = 3h$$

El volumen también se expresa como:

$$V = L \times a \times h \rightarrow V = L \times \frac{L}{2} \times \frac{L}{3}$$

Por lo tanto, despejando L:

$$L = \sqrt[3]{6V}$$

Velocidad y área transversal

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$Tg15 = \frac{m}{a}$$

$$m = Tg15 \times$$

Tiempo de limpieza:

$$t_{limpieza} = \frac{V}{Q}$$

Trampa de grasas

Se diseñó la trampa de grasas considerando el volumen semanal de aceites y grasas acumulados, el caudal diario y las dimensiones geométricas del tanque.

Datos:

- Vaciado = 5 d
- $L = 2a = 3 h$
- $a = 1,15 \text{ m}$
- $h = 0,77 \text{ m}$
- $Q = 1049 \frac{m^3}{d}$
- $A \text{ y } G = 60 \text{ mg/L} = 0,06 \text{ g/L}$
- $\rho \text{ de grasas} = 0,7 \frac{kg}{L} \times \frac{1000 g}{1 kg} \times \frac{1000 L}{1 m^3} = 7 \times 10^5 \frac{g}{m^3}$

Volumen de aceites y grasas semanal:

$$A \text{ y } G_{semana} = \frac{\text{vaciado} \times Q \times 1000 L \times m^3}{\text{día} \times L \times 1m^3 \times \rho \text{ de grasas}}$$

Relación de dimensiones para volumen

$$V = \frac{2 L \times 2 h \times a}{3 \times 3 \times 2} = \frac{2 L \times 2 L \times L}{3 \times 3 \times 3 \times 2 \times 2} \rightarrow \sqrt[3]{L^3}$$

Tanque aireador

Se calculó el oxígeno necesario y los requerimientos energéticos para la aireación, considerando el caudal diario, la carga orgánica y las condiciones locales.

Datos:

- $Q = 1049 \frac{m^3}{d}$
- $DBO_5 = 414,15 \text{ mg/L}$
- $T_{\text{Riobamba}} = 19 \text{ }^\circ\text{C}$
- $P_1 = 0,3 \text{ atm}$
- $P_2 = 1 \text{ atm}$
- $H_{\text{agua}} = 11 \text{ mca}$
- $\eta = 0,9 \text{ eficiencia}$

Oxígeno necesario:

$$O_2necesario = \frac{Q \times DBO5 \times 1000 L \times 1 kg}{d \times L \times 1 m^3 \times 1000g}$$

$$Q = \frac{02 kg \times m^3}{día \times 0,15 \times 0,21 \times 1,1 kg}$$

Conversión a caudal en ft³/min (CFM):

$$Q \frac{m^3}{día} \times \frac{1 día}{1440 min} \times \frac{1 ft^3}{0,305 m^3}$$

Conversión a kg/s:

$$Q \frac{m^3}{día} \times \frac{1 día \times 1,1 kg}{86400 s \times 1 m^3}$$

Potencia teórica (kW):

$$P_w = \frac{0,16 \times 8,314 \times 292 \times \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right]}{0,283 \times 29,7 \times \eta}$$

$$HP = \frac{P_w}{0,76}$$

Costo energético

$$Costo\ energético = \frac{P_w \times 24 h \times \$0,11 \times 30 d}{kW \times h}$$

Lodos activados

A continuación, se presentan los cálculos realizados para el sistema de lodos activados con el fin de dimensionar correctamente el proceso biológico y asegurar su eficiencia en la remoción de materia orgánica.

- $Q = 1049 \frac{m^3}{d}$
- DQO = 792 mg/L

- $\frac{A}{M} = 0,3$
- $h = 8 \text{ m}$
- $\theta = 6 \text{ h}$
- $x = 2500 \text{ mg/L}$

Conversión de DQO a concentración volumétrica

$$CV = \frac{DQO \text{ g} \times 1000 \text{ L}}{L \times 1 \text{ m}^3}$$

Volumen del tanque aireador

$$V = \frac{Q \times DQO \times L}{\frac{A}{M} \times X}$$

Relación geométrica del tanque:

$$A = \frac{V}{h}$$

$$L = 2a$$

$$A = L \times a = 2a^2 \rightarrow a = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Desinfección UV

Para garantizar la eliminación efectiva de microorganismos en el efluente tratado, se diseñó y dimensionó la unidad de desinfección mediante luz ultravioleta.

Datos:

- Coliformes totales = 2000 UFC
- $T_{\text{retención}} = 90 \text{ s}$
- Área de exposición (A_e) = 750 cm²
- Longitud equipo = 300 cm

- Intensidad de lámpara (I) = $132 \frac{mW}{cm^2}$

$$\% \text{ remoción} = \frac{C_{inicial} - C_{final}}{C_{inicial}}$$

$$\text{Potencia de lámpara} = I \times A_e$$

Lechos de secado de lodos

A continuación, se presentan las fórmulas aplicadas para el cálculo de los lechos de secado de lodos y la bomba de retorno.

Datos:

- $SST = 751,3 \frac{mg}{L} \times 31 m^3 \times \frac{1000 L}{1m^3} \times \frac{1g}{1000 mg} = 23\,290,3 g \cong 23,29 \frac{kg}{d}$
- $Q = 1049 \frac{m^3}{d}$
- $\rho_{lodos} = 1000 \frac{kg}{m^3}$

Masa de sólidos totales desechados:

$$Px = Q \left[\left(\frac{Y \times (S_o - S_e)}{1 + k_d \theta_c} \right) + SS_f + SS_{VNB} \right] \times 10^{-3}$$

Fuente: (Ramalho, 1996)

Donde:

Px = masa de sólidos totales desechados

Q = caudal entrante

Y = coef. Máximo de producción de biomasa (0,4-0,8)

S_o = DBO de entrada

S_e = DBO de salida

θ_c = edad de lodos

K_d = const. de declinación endógena (0,004 – 0,0075)

SS_f = sólidos suspendidos fijos de entrada

SS_{VNG} = sólidos suspendidos volátiles

$$\text{Lodos totales} = 237,5 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ kg}} \times 5,8d$$

Relación dimensional:

$$V = L \times a \times h$$

$$L = 2a$$

$$h = 3a$$

$$V = 6a^3 \quad a = \sqrt[3]{\frac{V}{6}}$$

Bomba de retorno para lodos activados:

Se calcula para su colocación en el área más plana del sistema de lodos activados, por lo que se tiene:

Datos:

- Producción de lodos: 1,38 m³
- Densidad máxima de lodos: 1,05 kg/L

Potencia hidráulica:

$$W = Q * H * \rho * g$$

Fuente: (Ramalho, 1996)

Donde

W = es la potencia en vatios

Q = caudal del afluente

H = pérdidas de carga

ρ = densidad de lodos

g = gravedad

4.6. Consideraciones éticas

Se respetó la confidencialidad de la información técnica proporcionada por EMAPAR. No se trabajó con sujetos humanos ni animales, por lo que no hubo riesgos bioéticos asociados. Se contó con el consentimiento verbal y/o escrito de la entidad responsable para realizar las visitas y toma de muestras, garantizando un manejo respetuoso y responsable del medio ambiente y los recursos hídricos en estudio.

5. Resultados y discusión

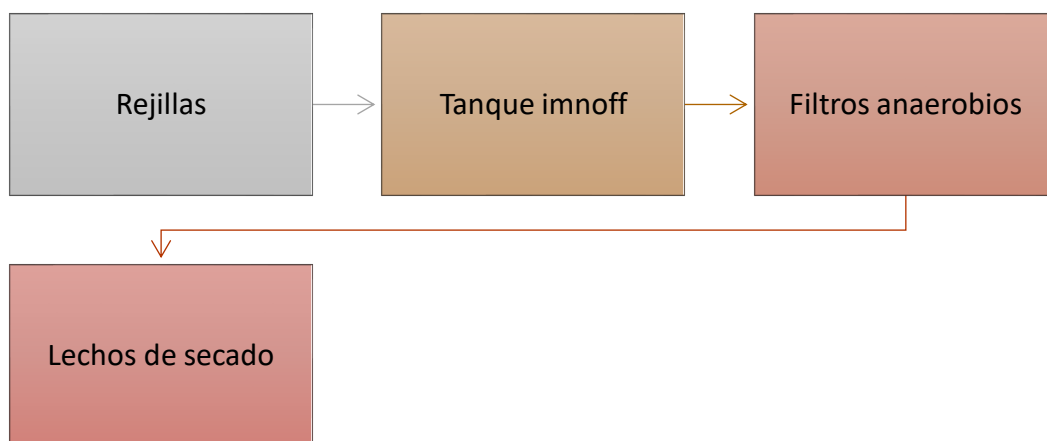
5.1. Diagnóstico de capacidad operativa y estado físico

5.1.1. Proceso de tratamiento actual

En la figura 2 se presenta el proceso de tratamiento actual de la PTAR, Se inicia con las rejillas para retener sólidos, seguido por el tanque imnoff y los filtros anaerobios, finalmente los lodos generados son llevados a los lechos de secado, donde se elimina la humedad y olores antes de su disposición final.

Figura 2.

Componentes de la PTAR



Nota. Procesos actuales en la PTAR.

5.1.2. Capacidad operativa actual

Para entender si la planta de tratamiento puede manejar el agua residual que recibe, primero es importante conocer el caudal actual que ingresa al sistema. Este dato permite comparar la capacidad real de la planta con el diseño original y evaluar si la infraestructura funciona correctamente. A continuación, se presentan los resultados relacionados con el caudal actual y la capacidad operativa de la planta.

Caudal actual

$$\frac{H_{max.agua}}{\Phi_{tubería}} = 0,15 \rightarrow C = 0,0739 \text{ según tabla}$$

$$A = 0,0739 \text{ ft} \times 1,26 \text{ ft} = 0,0932 \text{ ft}^2$$

$$CFS = 0,0932 \text{ ft}^2 \times 4,6 \frac{\text{ft}}{\text{s}} = 0,43 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 0,43 \frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \times \frac{28,32 \text{ L}}{1 \text{ ft}^3} = 12,14 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

El caudal actual medido que ingresa a la planta es de aproximadamente 12,14 L/s.

Capacidad operativa del tanque Imhoff

La capacidad operativa del tanque Imhoff se determinó a partir de sus dimensiones físicas y el tiempo de retención hidráulico, a continuación, se presenta los resultados obtenidos.

$$V_1 = 133,95 \text{ m}^3 = 134 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 8,6 \text{ m}^3$$

$$V_T = 285,2 \text{ m}^3$$

$$Q = 3,3 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

El tanque Imhoff fue diseñado para un caudal máximo de 3,3 L/s, lo que representa aproximadamente 27% del caudal actual medido, indicando que el sistema está sobredemandado y no alcanza a tratar el volumen de aguas residuales que recibe actualmente.

Capacidad operativa del filtro anaerobio

$$V_1 = 362,88 \text{ m}^3 = 363 \text{ m}^3$$

$$Q = 3,78 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 1,01 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

La capacidad operativa máxima del filtro anaerobio es de 1,01 L/s, lo cual representa menos del 10% del caudal actual medido, revelando una grave insuficiencia en su capacidad de tratamiento, ya que está operando muy por debajo de los requerimientos reales.

No obstante, pese a esta limitación, el sistema estructural del filtro aún soporta físicamente el paso del caudal, razón por la cual se ha decidido mantener su estructura en el rediseño, pero cambiar su uso: se reutilizará como sedimentador secundario para el nuevo sistema de lodos activados. Adicionalmente, se conservaron cuatro de los diez lechos de secado originales, los cuales permiten manejar con holgura los lodos generados, garantizando capacidad suficiente para las necesidades operativas actuales.

5.1.3. Estado físico actual

El diagnóstico físico general de la planta de tratamiento de aguas residuales del barrio La Libertad evidenció un significativo deterioro. Las rejillas del canal de ingreso están muy desgastadas, mal colocadas y presentan barrotes corroídos en un alto grado, lo cual ha hecho que pierdan casi en su totalidad la función de retener sólidos gruesos, lo cual ocasiona riesgos de taponamiento en las etapas subsiguientes.

Asimismo, se identificó que las compuertas de los cuatro Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente (FAFA) presentan corrosión severa, con perforaciones visibles y pérdida de estanqueidad, lo cual permite la fuga de gases producto de la descomposición orgánica. Sin embargo, otros componentes de la infraestructura muestran únicamente desgastes menores que, por el momento, no comprometen de forma significativa su operación.

Estas observaciones reflejan la necesidad de intervenir y repotenciar estos elementos críticos para garantizar un adecuado funcionamiento hidráulico y biológico de la planta, ya que las fallas en estos componentes básicos afectan directamente en la eficiencia global del tratamiento. A continuación, se presenta la evidencia fotográfica de las condiciones actuales de la PTAR.

Figura 3.

Filtro anaerobio



Nota. Evidencia fotográfica de la compuerta metálica de uno de los filtros anaerobios.

Figura 4.

Tanque imnoff



Nota. Evidencia fotográfica del Tanque imnoff

Figura 5.

Visita técnica de la PTAR actual



Nota. Evidencia fotográfica del estado actual de la PTAR

5.2. Desempeño de depuración

5.2.1. Análisis de parámetros físico-químicos y biológicos

Los resultados obtenidos del análisis de laboratorio, presentados en el Anexo 4, muestran las concentraciones promedio de los principales parámetros físico-químicos y microbiológicos del efluente tratado por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del barrio La Libertad. Al comparar estos valores con los límites permisibles establecidos en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) para descargas a cuerpos de agua dulce, se evidencia que el efluente tratado actualmente supera los valores permitidos en varios parámetros clave, lo que constituye un incumplimiento normativo y representa un riesgo potencial tanto para la calidad del recurso hídrico receptor como para el equilibrio del ecosistema.

A continuación, se presenta la Tabla 4, que resume los promedios obtenidos de las seis muestras analizadas, permitiendo visualizar de manera comparativa los resultados obtenidos frente a los límites establecidos por la normativa vigente.

Tabla 4.

Límites de descarga en cuerpos de agua dulce

Parámetros	Unidades	Valor promedio	Límite permisible
pH	unid.	7,164	7-9
Conductividad	μSiems/cm	1244,8	-

Sólidos totales	mg/L	765,7	1600
Fósforo total	mg/L	4,232	10
Nitritos	mg/L	0,0228	10
Nitratos	mg/L	70	10
Coliformes fecales	UFC/L100 ml	1×10^7	2000
Coliformes totales	UFC/L100 ml	$1,4 \times 10^7$	Ausencia
DBO5	mg/L	454,4	100
DQO	mg/L	718	200

Nota. Valores promedio de las muestras para cada parámetro evaluado, destacándose en color rojo aquellos que superan los límites establecidos.

5.2.2. Análisis de la DQO

La DQO es una medida de la cantidad de materia orgánica presente en el efluente y es vital para evaluar la eficiencia del tratamiento y su impacto ambiental. Los resultados mediante una prueba de proximidad para observar la tendencia de los valores se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5.

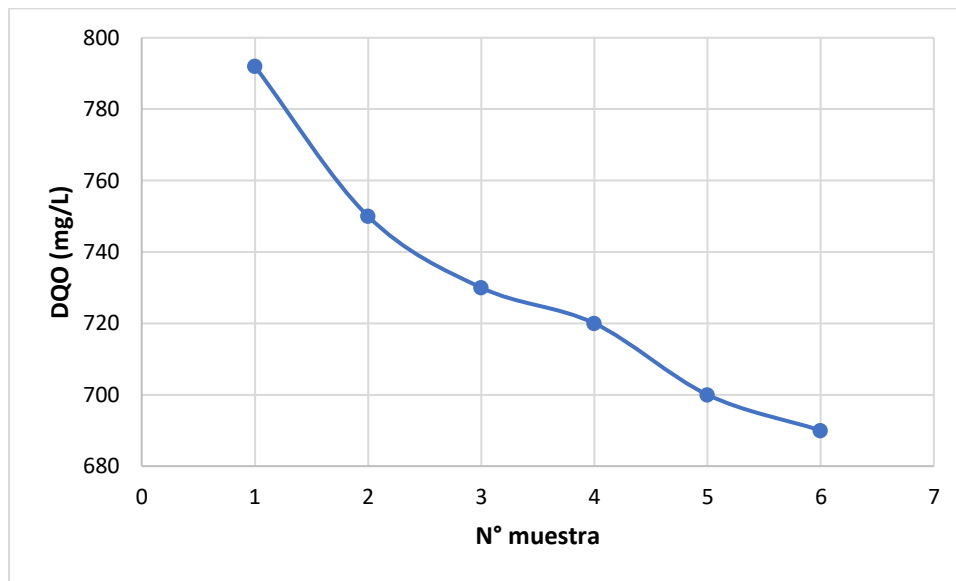
Valores de la DQO

Muestra (N°)	DQO, mg/L	f (%)
1	792	8,89
2	750	19,73
3	730	25,54
4	720	35,33
5	700	50,56
6	690	70,69

Nota. Valores de DQO de cada muestra. La frecuencia acumulada indica la distribución acumulada de los datos.

Figura 6.

Evolución de la DQO en función del número de muestra



Nota. Representa la variación de los valores de DQO a través de seis muestras consecutivas.

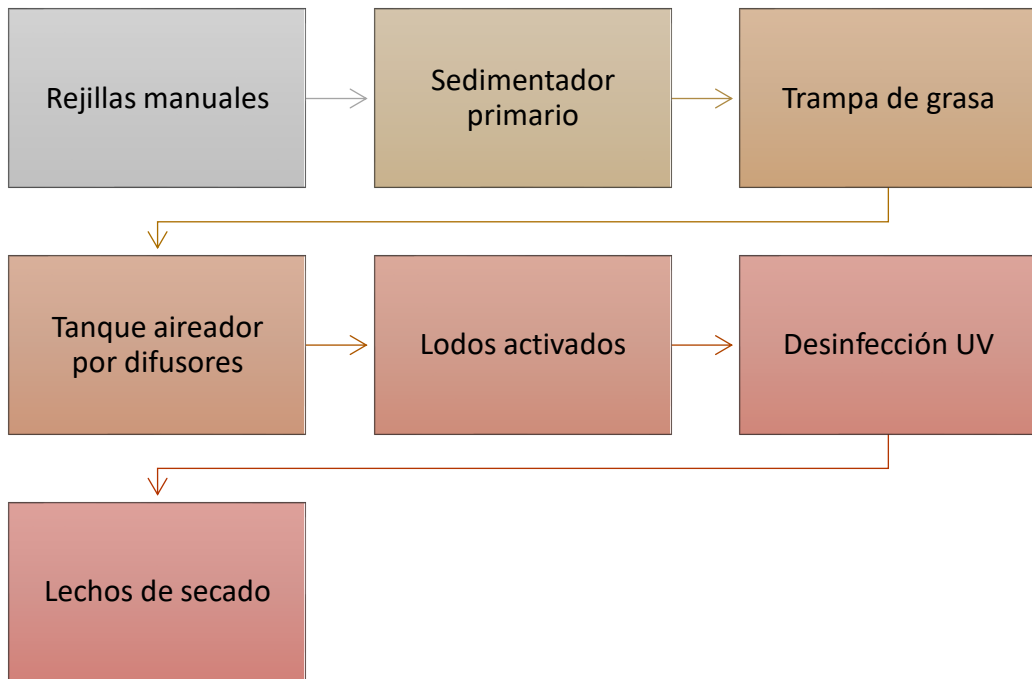
Se evidencia en la Figura 6 que los valores de DQO, tienen una tendencia a la disminución a lo largo de las muestras, pero en niveles que superan los límites permisibles para descargas a cuerpos de agua dulce. Esta persistencia de altos valores de DQO se explica por la carga orgánica proveniente para el caso del afluente, principalmente del faenamiento, en la zona de influencia de la PTAR, razón por la cual, el tratamiento actual no presenta la eficiencia requerida.

5.3. Dimensionamiento de la planta repotenciada

En la Figura 7 se presentan los principales componentes propuestos para la repotenciación de la planta, los cuales fueron seleccionados considerando criterios técnicos, económicos y de sostenibilidad. Los planos de diseño correspondientes a la repotenciación se incluyen en el Anexo 5.

Figura 7.

Componentes para la repotenciación de la PTAR



Nota. Principales procesos considerados en la propuesta de repotenciación.

5.3.1. Rejillas

La criba constituye el primer componente del pretratamiento en la PTAR, cuya función principal es retener sólidos gruesos y materiales flotantes, evitando que ingresen al sistema biológico y provoquen obstrucciones o afecten la eficiencia de los procesos posteriores. A continuación, se presenta los resultados.

Número de varillas

$$\# \text{ varillas} = 16$$

Área transversal:

$$\text{Área} = 0,1257 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,01214 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Si: } V = \text{Área} \times \text{Altura}_{\text{agua}}$$

Altura de agua:

$$\text{Altura}_{\text{agua}} = 0,1 \text{ m} = 10 \text{ cm (espejo de agua)}$$

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo del número de varillas, área transversal y altura de agua fueron adaptadas de Metcalf & Eddy (2014), ajustándose a las condiciones específicas de la PTAR del barrio La Libertad.

5.3.2. Sedimentador primario

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el sedimentador primario

Volumen:

$$V = 22,58 \text{ m}^3 = 22,6 \text{ m}^3$$

Dimensiones:

$$L = 5,14 \text{ m} \therefore a = 2,57 \text{ m} \quad h = 1,71 \text{ m}$$

Velocidad:

$$v = 0,00276 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Altura crítica:

$$m = 0,6886 \text{ m} = 0,69 \text{ m}$$

Tiempo estimado para limpieza:

$$t_{\text{limpieza}} = 5 \text{ d } 18 \text{ h } 43 \text{ min}$$

Las ecuaciones utilizadas para el cálculo del volumen, dimensiones, velocidad, altura crítica y tiempo estimado de limpieza del sedimentador primario fueron adaptadas de Metcalf & Eddy (2014).

5.3.3. Trampa de grasa

A continuación, se presentan los resultados correspondientes al diseño y dimensionamiento de la trampa de grasa.

Volumen semanal:

$$A \text{ y } G_{\text{semana}} = 0,45 \text{ m}^3$$

Relación de dimensiones:

$$\sqrt[3]{L^3} = \sqrt[3]{27 \times 0,45 \text{ m}^3} = 2,30 \text{ m}$$

Para el diseño y dimensionamiento de la trampa de grasa, se aplicaron las ecuaciones adaptadas de Metcalf & Eddy (2014).

5.3.4. Tanque aireador por difusores

A continuación, se presentan los resultados correspondientes al diseño y dimensionamiento del tanque aireador, fundamental para garantizar la correcta oxigenación del proceso biológico.

Oxígeno necesario:

$$O_2 \text{ necesario} = 434,44 \frac{\text{kg}}{\text{día}} O_2$$

$$Q = \frac{434,44 \text{ kg} \times \text{m}^3}{\text{día} \times 0,15 \times 0,21 \times 1,1 \text{ kg}} = 12538 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{1440 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,305 \text{ m}^3} = 28,55 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \text{ (CFM)}$$

$$12538 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día} \times 1,1 \text{ kg}}{86400 \text{ s} \times 1 \text{ m}^3} = 0,1596 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cong 0,16 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Potencia (kW):

$$P_w = \frac{0,16 \times 8,314 \times 292 \times \left[\left(\frac{1 + 0,3}{0,3} \right)^{0,283} - 1 \right]}{0,283 \times 29,7 \times 0,9} = \frac{26,41 \text{ kW}}{0,76} = 34,75 \text{ HP}$$

$$34,75 \text{ HP} \cong \frac{36 \text{ HP}}{3} = 12 \text{ HP (3 blowers de 12 HP)}$$

Costo energético

$$\text{Costo energético} = \$2091,57 \text{ (funcionando todo el día)}$$

Las ecuaciones y cálculos para el dimensionamiento del tanque aireador fueron adaptados de Metcalf & Eddy (2014).

5.3.5. Lodos activados

A continuación, se presentan los resultados del dimensionamiento del tanque de lodos activados, diseñado para optimizar la depuración biológica del efluente mediante el proceso de recirculación.

Conversión de DQO a concentración volumétrica:

$$CV = 792 \frac{g}{m^3} DQO$$

Volumen:

$$V = 1107,64 m^3$$

Relación geométrica del tanque:

$$L = 2a = 14,2 m \quad h = 8 m$$

$$A = \frac{1107,64 m^3}{8 m} = 138,46 m^2$$

$$a = \sqrt{\frac{138,46 m^2}{2}} = 8,32 m$$

Las fórmulas utilizadas para el cálculo del volumen y dimensiones geométricas del tanque de lodos activados fueron adaptadas de Ramalho (1996).

5.3.6. Desinfección UV

Se presentan a continuación los resultados obtenidos para el proceso de desinfección UV, enfocado en la reducción de coliformes totales para asegurar la calidad microbiológica del efluente tratado.

$$\% \text{ remoción} = \frac{1 \times 10^7 - 2000}{1 \times 10^7} = 0,99 = 99\%$$

Potencia de lámpara = 90 W

Las fórmulas empleadas para el cálculo de la remoción de coliformes y el dimensionamiento de la lámpara UV fueron adaptadas de Ramalho (1996), ajustadas al caudal y características microbiológicas del efluente.

5.3.7. Lechos de secado

A continuación, se presentan los resultados del cálculo de la producción y volumen de lodos totales generados, así como la potencia requerida para la bomba de retorno en el sistema de lodos activados.

Masa de sólidos totales desechados

$$Px = 1049 \frac{m^3}{d} \times \left[\left(\frac{0,6 \times (414,15 - 100)}{1 + 5,78 \times 0,006} \right) + 12 + 10 \right] \times 10^{-3}$$

$$Px = 214,18 \frac{kg}{d}$$

Lodos totales = $1,38 m^3$

$$V = \sqrt[3]{\frac{1,38 m^3}{6}} = 0,61 m$$

Bomba de retorno para lodos activados

Se calcula para su colocación en el área más plana del sistema de lodos activados, por lo que se tiene:

$$W = 12,14 \frac{L}{s} * 2 m * 1,05 \frac{kg}{L} * 9,81 \frac{m}{s^2} = 125,05 \frac{J}{s} = 250,1 W$$

De vatios a HP es:

$W = 0,3354$ HP la eficiencia de la bomba es alrededor de 75% a 80% por lo que se necesita una bomba de 0,42 HP, por lo que en el mercado se encuentra una bomba hidráulica de medio HP.

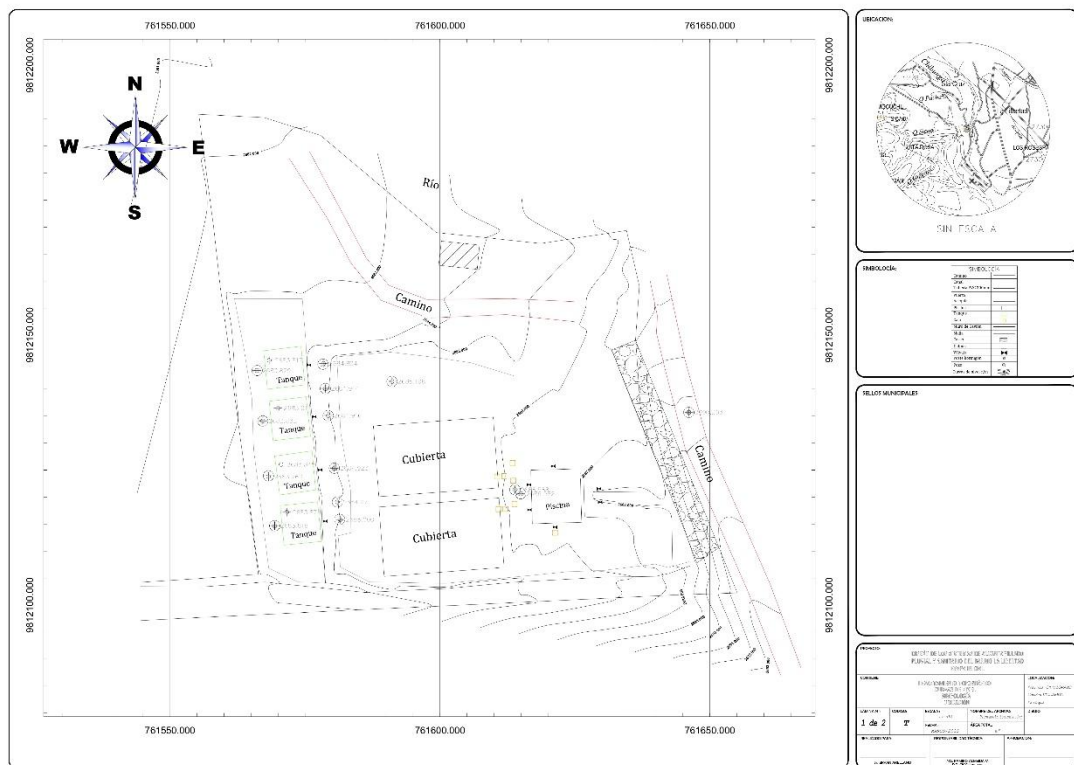
Los cálculos de producción de lodos, volumen de lechos y dimensionamiento de la bomba de retorno fueron adaptados de Ramalho (1996), ajustados a las condiciones operativas del sistema de lodos activados de la PTAR.

5.3.8. Análisis topográfico

Para determinar si el proyecto de repotenciación tiene factibilidad de funcionar por gravedad se realizó un estudio de topografía además que se conoce las características del terreno. En la Figura 8 se observa la topografía del área de estudio.

Figura 8.

Mapa topográfico del área de estudio

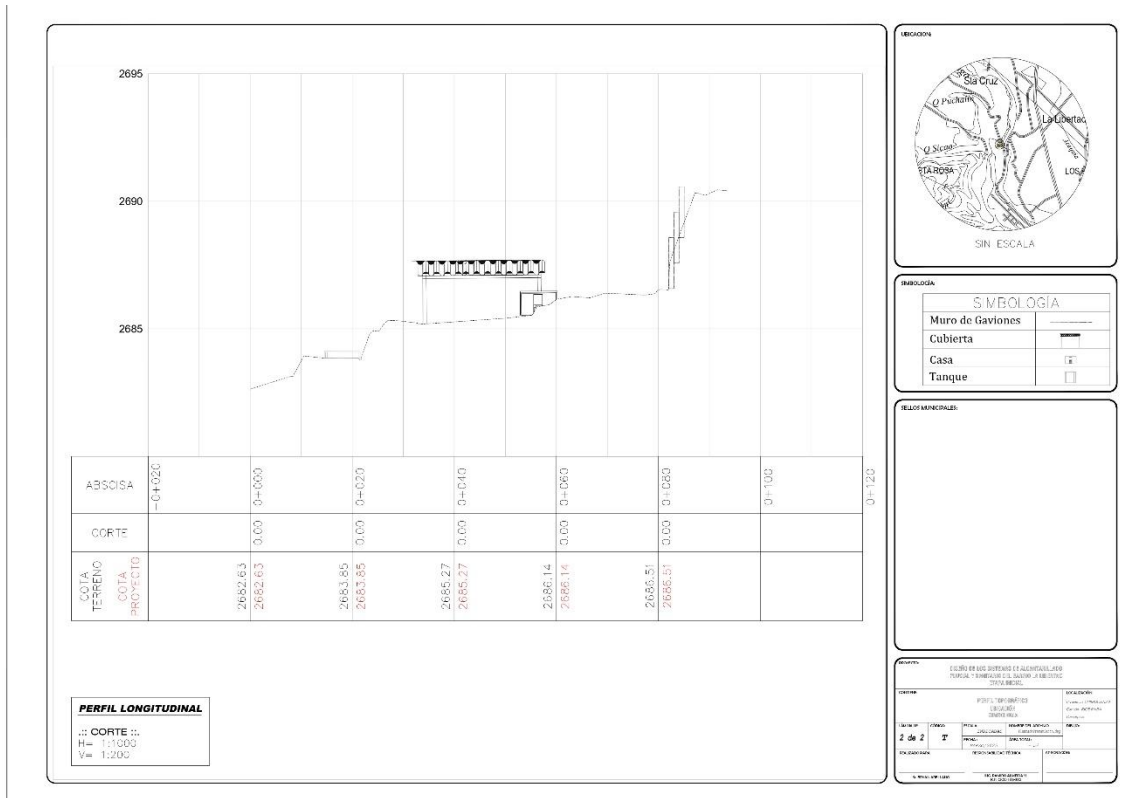


Nota. Topografía del área de estudio.

Además, se obtuvo el perfil del terreno como se observa en la Figura 9, es muy importante al momento de diseñar la bomba de retorno y del tanque aireador.

Figura 9.

Perfil del terreno del área de estudio



Nota. Curvas de nivel del área de estudio.

Según las curvas de nivel del terreno se puede deducir que el área donde se encuentran los lechos de secado se encuentra aplanado, de acuerdo a estos criterios se puede calcular:

$$\frac{\text{Altura}}{\text{Base}} = \text{Tan } \phi = \text{pendiente}$$

$$\text{Pendiente: } m = \frac{\text{Altura inicial} - \text{Altura final}}{\text{base}} = \frac{2688 \text{ m} - 2683 \text{ m}}{60 \text{ m}} = \text{Tan } \phi \rightarrow \phi = 4,76^\circ$$

Presenta una pendiente positiva de 4,76% lo cual es favorable para un diseño bajo flujo por gravedad.

La topografía del terreno es favorable para la repotenciación de la PTAR, ya que cuenta con una pendiente que permite trabajar por gravedad y reduce los costos de implementación. Aunque es necesario incluir una bomba de recirculación de lodos, esta debe ser de bajo costo y consumo energético. Además, el terreno donde se encuentra la planta dispone de linderos definidos, vías de acceso, buena iluminación, posibilidades de conexión a la red eléctrica y una ubicación elevada que la protege de posibles crecidas. La salida al río Guano está a pocos metros, y el área disponible es suficiente para desarrollar el proyecto.

5.4. Comparativa entre la PTAR actual y la PTAR repotenciada

En la Tabla 6 se presenta la comparación entre la PTAR existente del barrio La Libertad y la propuesta repotenciada, evidenciando mejoras significativas en los procesos y volúmenes de tratamiento. Mientras que la planta actual opera con sistemas tradicionales, como el tanque Imhoff y filtros anaerobios, que requieren mayores volúmenes y presentan limitaciones operativas, la planta repotenciada incorpora rejillas, sedimentador primario, trampa de grasa, tanque aireador con lodos activados, desinfección UV y lechos de secado optimizados. Los cálculos para cada unidad se realizaron a partir de fórmulas adaptadas de Metcalf & Eddy (2014) y Ramalho (1996), considerando las características hidráulicas y biológicas del efluente, con el objetivo de garantizar eficiencia en la separación de sólidos, oxigenación biológica, remoción de materia orgánica y control microbiológico. Esta comparativa demuestra que la repotenciación mejora la capacidad operativa y optimiza la eficiencia de los procesos asegurando el cumplimiento de la normativa vigente, fortaleciendo la sostenibilidad del sistema.

Tabla 6.

Comparación del proceso de la planta actual vs repotenciada

Procesos de la PTAR actual	Volumen	Procesos de la PTAR repotenciada	Volumen
----------------------------	---------	----------------------------------	---------

Rejillas	-	Rejillas manuales	-
Tanque imhoff	285,2 m ³	Sedimentador primario	22,6 m ³
Filtros anaerobios (FAFA)	363 m ³	Trampa de grasa	0,45 m ³ / semana
Lechos de secado	Mayor al volumen de diseño	Tanque aireador por difusores	1107,64 m ³
		Lodos activados	-
		Desinfección UV	-
		Lechos de secado	Lodos totales 1,38 m ³

Nota. Comparación del proceso de la planta actual vs repotenciada considerando los volúmenes requeridos.

5.5. Discusión

El diagnóstico realizado a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del barrio La Libertad evidenció deficiencias significativas en los procesos de pretratamiento, tratamiento biológico y disposición final. Esto coincide con lo indicado por Toledo (2024), que señala que varias PTAR de la provincia de Chimborazo y Tungurahua presentan limitaciones, como la escasa funcionalidad por falta de mantenimiento, insuficiente capacidad de tratamiento y limitaciones económicas. Asimismo, Molina & Quille (2024) afirman que el principal inconveniente de todas las plantas de tratamiento es el

mantenimiento inadecuado, siendo comunes problemas como corrosión y erosión en canaletas, rejillas de barras, canales de descarga, tolvas, bombas, cámaras y tuberías.

Los análisis realizados confirmaron que los parámetros de descarga actuales no cumplen con los límites establecidos por la normativa vigente (Acuerdo Ministerial 097-A), especialmente en cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales y coliformes fecales. Dicho hallazgo coincide con lo descrito por Molina (2022), quien reportó que en el caso de plantas de tratamiento ubicadas en las zonas rurales, los valores de DBO, aceites y grasas, fósforo total y sólidos suspendidos superan los valores normativos de forma frecuente, lo que se traduce en deficiencias de operación. Tales deficiencias se relacionan directamente con la antigüedad de la planta, la limitada aplicación de tecnologías modernas y la falta de mantenimiento adecuado, factores que reducen la capacidad de remoción de contaminantes y generan incumplimiento de la normativa ambiental.

Para abordar estas limitaciones, la intervención propuesta se centra en optimizar los procesos de tratamiento mediante ajustes y mejoras tecnológicas que incrementen la eficiencia biológica, la remoción de contaminantes y la confiabilidad operativa. La incorporación de elementos como cribas y sedimentadores primarios favorece la separación de sólidos gruesos y sedimentables antes del tratamiento secundario, lo que coincide con los hallazgos de Castillo y Díaz (2022), quienes reportan que estas unidades incrementan la eficiencia global del sistema al reducir la carga contaminante que alimenta los procesos biológicos posteriores. Además, Seven Seas (2025) evidencian que la modernización de los sistemas de tratamiento primario contribuye significativamente a disminuir costos operativos a largo plazo, al evitar obstrucciones y prolongar la vida útil de los componentes biológicos.

Por otro lado, estudios como los de Ayquipa (2021) y Kirchem et al. (2020) han demostrado que la incorporación de trampas de grasas y sistemas de aireación por difusores mejora significativamente la calidad del efluente, al reducir la carga orgánica, aceites, grasas y contaminantes microbiológicos. Esto respalda que los componentes propuestos para la repotenciación están alineados con las mejores prácticas a nivel nacional e internacional. Además, el dimensionamiento del tanque aireado de lodos

activados, junto con los recolectores de lodos y lechos de secado, responde a estándares técnicos descritos por Metcalf & Eddy (2014), quienes destacan que el manejo adecuado de lodos es clave para la sostenibilidad y eficiencia operativa del sistema. En este sentido, Lohmeyer (2024), resalta que las mejoras en aireación y manejo de lodos reducen los tiempos de retención y optimiza los parámetros de calidad del efluente, fortaleciendo la capacidad de respuesta del sistema ante variaciones en la carga contaminante.

Respecto a la aplicación de tecnologías de desinfección UV para el control microbiológico, la propuesta planteada en esta investigación concuerda con estudios que destacan su alta eficacia y bajo impacto ambiental. Investigaciones como la de Vergara (2021) han demostrado que el uso de radiación UV permite alcanzar tasas de remoción de coliformes superiores al 99.9%, confirmando así la pertinencia de esta tecnología para mejorar la calidad del efluente tratado.

Finalmente, el aprovechamiento del perfil topográfico para el diseño de un sistema de flujo por gravedad coincide con lo expuesto por Sancho (2023), quienes señalan que la información capturada en la topografía permitirá realizar una construcción más segura, con mejor estimación de costos y ahorro en movimiento de tierras. Esta evidencia respalda la factibilidad técnica y económica del enfoque adoptado, garantizando un tratamiento eficiente y sostenible, que responde a las necesidades de la comunidad y a los requerimientos de la normativa vigente.

6. Conclusiones

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del barrio La Libertad opera actualmente con un caudal aproximado de 12,14 L/s, valor que excede de manera significativa la capacidad de diseño original de sus componentes. esta limitación se ve agravada por el deterioro de elementos clave, como las rejillas de ingreso y las compuertas de los filtros anaerobios, comprometiendo el funcionamiento integral del sistema.

El desempeño de depuración de la PTAR del barrio La Libertad resulta insuficiente para cumplir con los límites establecidos por la normativa ambiental vigente. Debido a la naturaleza de la carga contaminante generada en su área de influencia, el efluente excede las concentraciones físico-químicas y microbiológicas máximas permitidas para descargas en cuerpos de agua dulce. En consecuencia, el sistema actual no garantiza una calidad adecuada para la protección del recurso hídrico receptor, lo que hace imperativo implementar medidas de mejora sustanciales.

La repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del barrio La Libertad, mediante la incorporación de un sistema moderno de lodos activados, permite optimizar los procesos de tratamiento, incrementar la capacidad operativa y garantizar que el efluente cumpla con la normativa vigente. Esta intervención asegura un manejo eficiente y sostenible de las aguas residuales, protege el recurso hídrico y contribuye al bienestar de la comunidad. Los resultados demuestran que la modernización tecnológica es viable, adaptada a las condiciones locales y esencial para la sostenibilidad ambiental y operativa del sistema, consolidando así un modelo de tratamiento eficaz y confiable para futuras demandas.

Referencias

- [
- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water Wastewater*.
- Asqui, Y. (2023). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA EMPRESA PROCESADORA AGROINDUSTRIAL "MIS FRUTALES" UBICADA EN LA PARROQUIA SAN LUIS, CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/0cc0f72b-3c63-4081-ab7a-373e9567a37e/content>
- Ayquipa, N. (2021). *Evaluación de la eficiencia de una trampa de grasa para el pretratamiento de aguas residuales grises en viviendas unifamiliares del distrito de Lares-Cuso-2021*. Universidad Continental: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11474/1/IV_FIN_107_TE_Ayquipa_Conde_2021.pdf
- Calles-García, J., & González-Pérez, P. (2011). *La Biblia del Footprinting*.
- Castillo, F., & Díaz, H. (2022). *Diseño de una planta de tratamientos de aguas residuales y calidarlo mediante un software de simulación y optimización para la parroquia Crucita, Portoviejo-Manabí*. Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22938/1/UPS-CT009990.pdf>
- Kirchem, D., Lynch, M., Bertsh, V., & Casey, E. (2020). Modelado de la respuesta a la demanda con modelos de procesos y modelos de sistemas energéticos: Posibles aplicaciones para el tratamiento de aguas residuales en el nexo energía-agua. *Applied Energy*, 260(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114321>
- Lohmeyer, W. (2024). *Lodos de retorno: comprensión de su papel en el tratamiento de aguas residuales*. Waterand waste water: https://www-waterandwastewater-com.translate.goog/return-sludge-understanding-its-role-in-wastewater-treatment/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge#:~:text=¿Por%20qué%20una%20parte%20del,general%20del%20proceso%20de%20tratamiento.

- Lokal Consult. (2020). *EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE RIOBAMBA*. <https://www.epemapar.gob.ec/at.pdf>
- Marticorena, B. (2021). *Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica*. Ciencia y Sociedad : https://www.interacademies.org/sites/default/files/2021-09/Libro_Calidad_del_Agua-1.pdf
- Metcalf & Eddy. (2014). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización*. In *Volumen II*. McGraw-Hill.
- Molina, C., & Quille, A. (2024). *Propuesta de repotenciación de la planta de tratamientos de aguas residuales de Quillopungo, en la parroquia de el Valle-Cuenca*. Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/26981/4/UPS-CT011184.pdf>
- Molina, M. (2022). *Evaluación de la planta de tratamiento de agua residuales de la comunidad Yanayacu La Doloroda sector La Floresm Cantón Quero, Provincia de Tungurahua*. Universidad Técnica de Ambato.
- ONU. (2019). *Naciones Unidas*. Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/#:~:text=La%20eficiencia%20en%20el%20uso,conflictos%20y%20el%20cambio%20climático>.
- Osorio, M., Carrillo, W., Loor, X., & Negrete, J. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento*, 6(1), 3-15.
- PDOT Parroquia San Luis. (2019-2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Luis*. http://www.edicioneslegales-informacionadicional.com/webmaster/directorio/EE707_2023.pdf
- Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Editorial Reverté.
- Salas, J. (2021). *Criterios básicos para la correcta ubicación de una estación depuradora de aguas residuales*. Iagua: <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/criterios-basicos-correcta-ubicacion-estacion-depuradora-aguas-residuales>
- Salcedo, L. (2025). *Repotenciación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudadela El Condado de Vicolinci, Cantón Daule*. Univerisad Politécnica

- Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/30310/1/UPS-GT006310.pdf>
- Sancho, J. (2023). *Levantamiento Topográfico para Planta de Tratamiento de Aguas*. Acero Estudio: <https://aceroestudio.com/levantamiento-topografico-para-planta-de-tratamiento-de-aguas/#:~:text=Realizar%20el%20levantamiento%20topogr%C3%A1fico%20para,ahorro%20en%20movimiento%20de%20tierras.&text=Recuerda%20que%20Acero%20Estudio%20cuenta,Estamos%20a%20su%20s>
- Saravia, S., Gil, M., Fernández, D., Montañez, A., Blanco, E., Naranjo, L., Llavona, A., & Sarmanto, N. (2022). *“Oportunidades de la economía circular en el tratamiento de aguas residuales en América Latina y el Caribe*. CEPAL: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/3413ec71-7292-4ce7-95a8-a6b4aa53faae/content>
- Seven Seas. (2025). *Reducción de los costes operativos del tratamiento del agua y aguas residuales*. Seven Seas News Team: <https://sevens seawater.com/es/reduccion-costes-operativos-tratamiento-agua/>
- Toledo, C. (2024). *Inventario de los tratamientos de aguas residuales en 15 poblados de las provincias de Chimborzo y Tungurahua del Ecuador*. Universidad Politécnica de Chimborazo: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/12296/1/Toledo%20Parra%20Cinthya%20Mishell%20INVENTARIO%20DE%20LOS%20TRATAMIENTOS%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20EN%2015%20POBLADOS%20DE%20LAS%20PROVINCIAS%20DE%20CHIMBORAZO%20Y%20TUNGURAHUA%20DEL%20ECUADOR%20%281%2>
- Torske, M. (2019). *La realidad de las aguas servidas en Ecuador*. YAKUNINA: <https://www.yakunina.com/la-realidad-de-las-aguas-servidas-en-ecuador/#:~:text=La%20mayoría%20de%20ciudades%20no%20cuenta%20con,dificulta%20aún%20más%20el%20tratamiento%20de%20agua.&text=Uno%20de%20estos%20impactos%20es%20el%20agua,utilizarla%20en%20riego>
- Vega, C. (2024). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales del camal municipal del cantón Morona*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo:

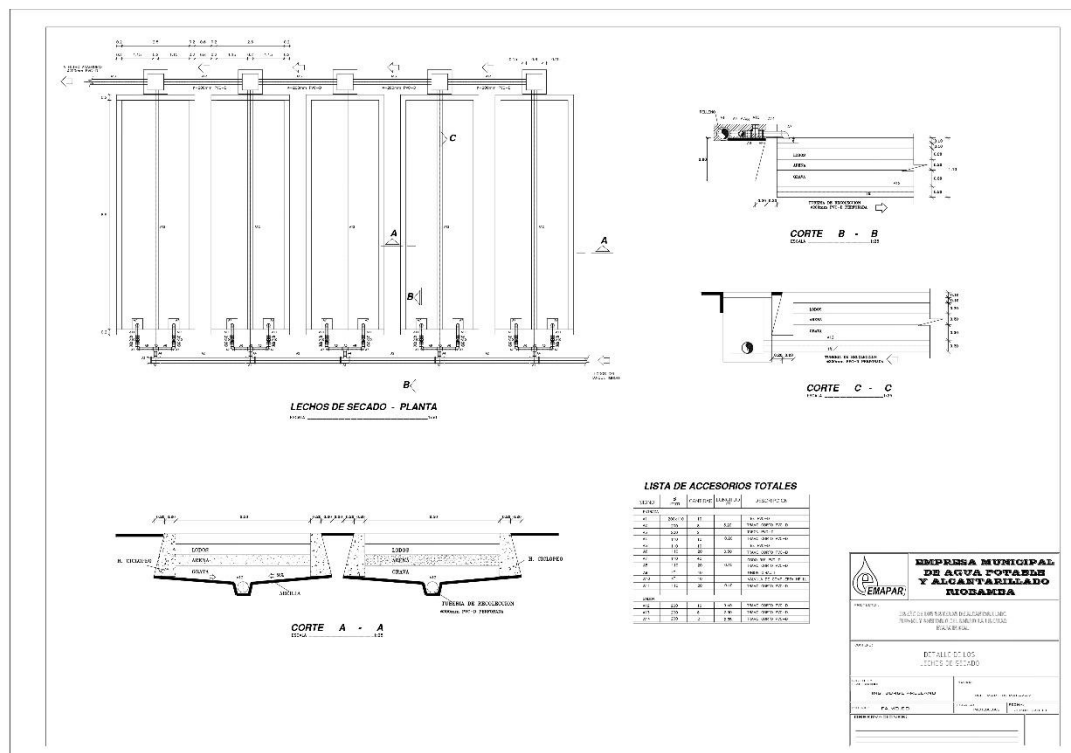
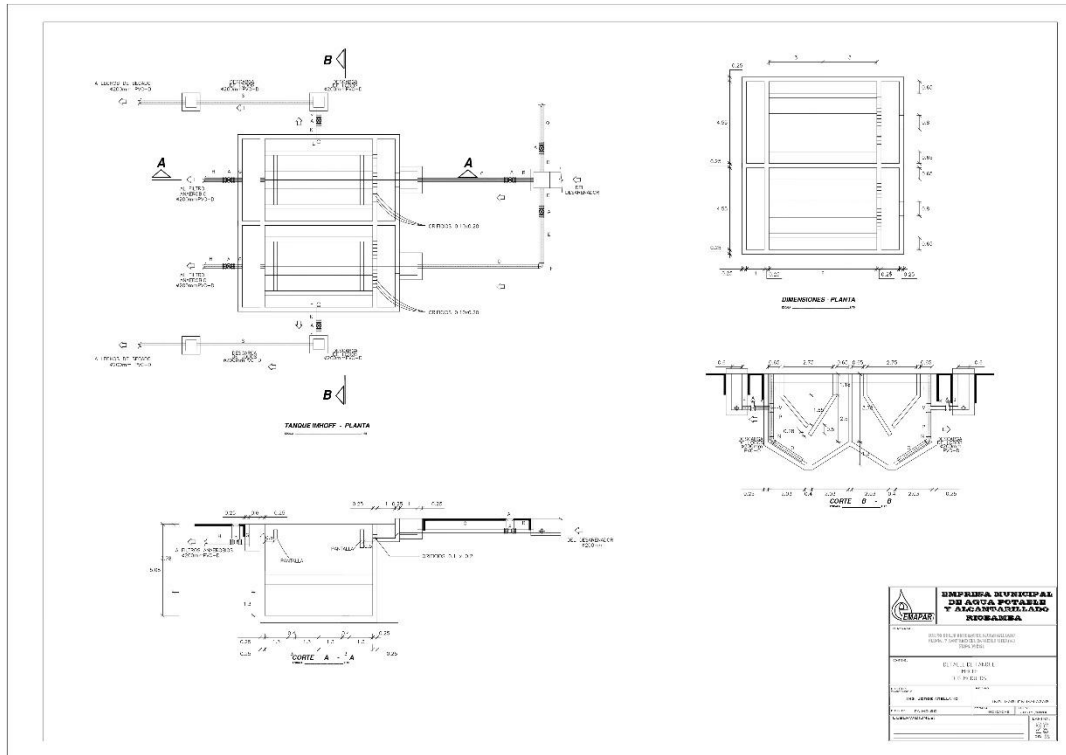
<https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/e9aaa937-49c1-492d-a691-71634a5f7cd5/content>

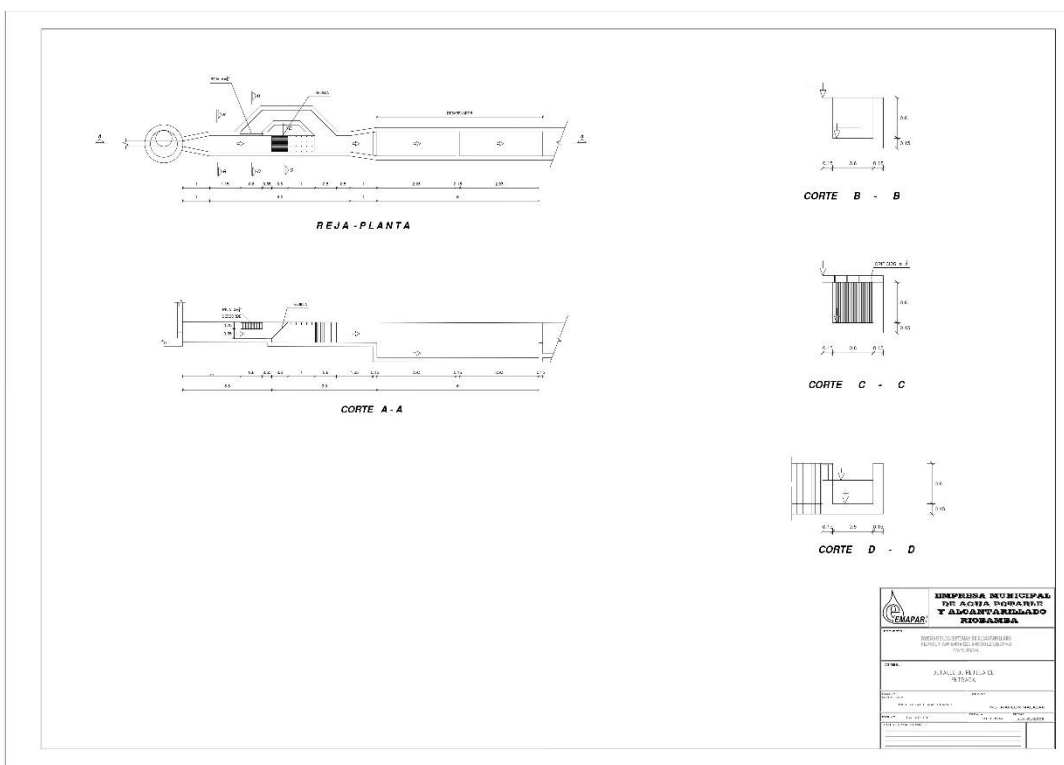
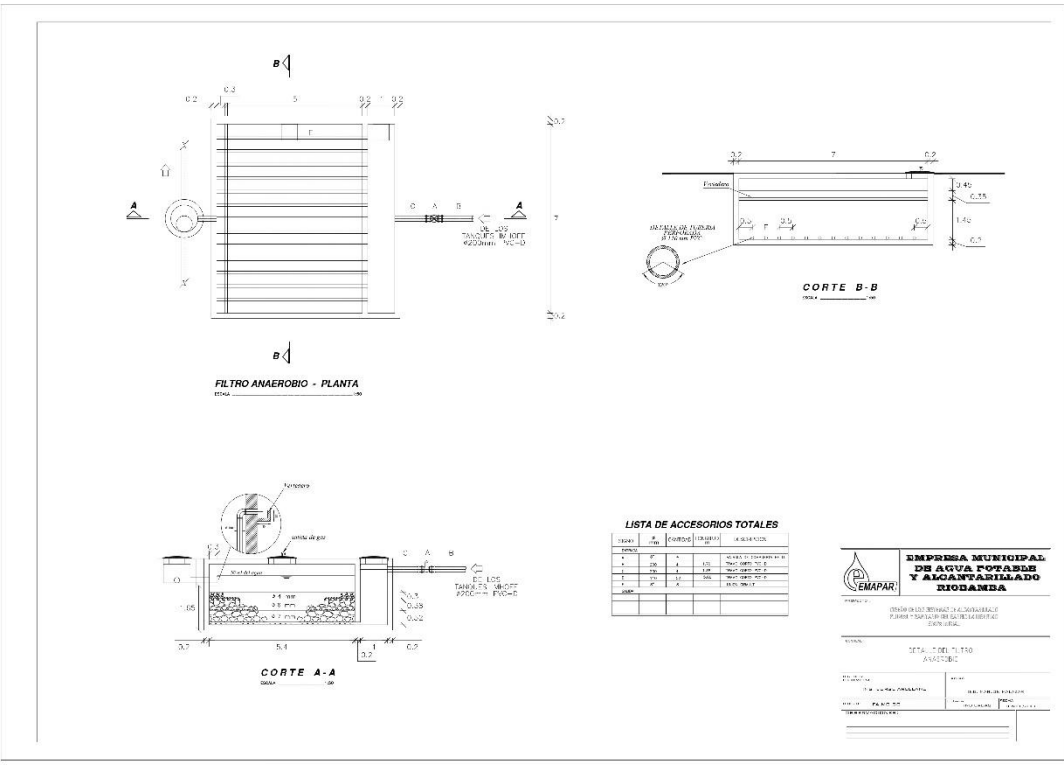
Vergara, J. (2021). *Luz ultravioleta para la purificación del agua residual.*

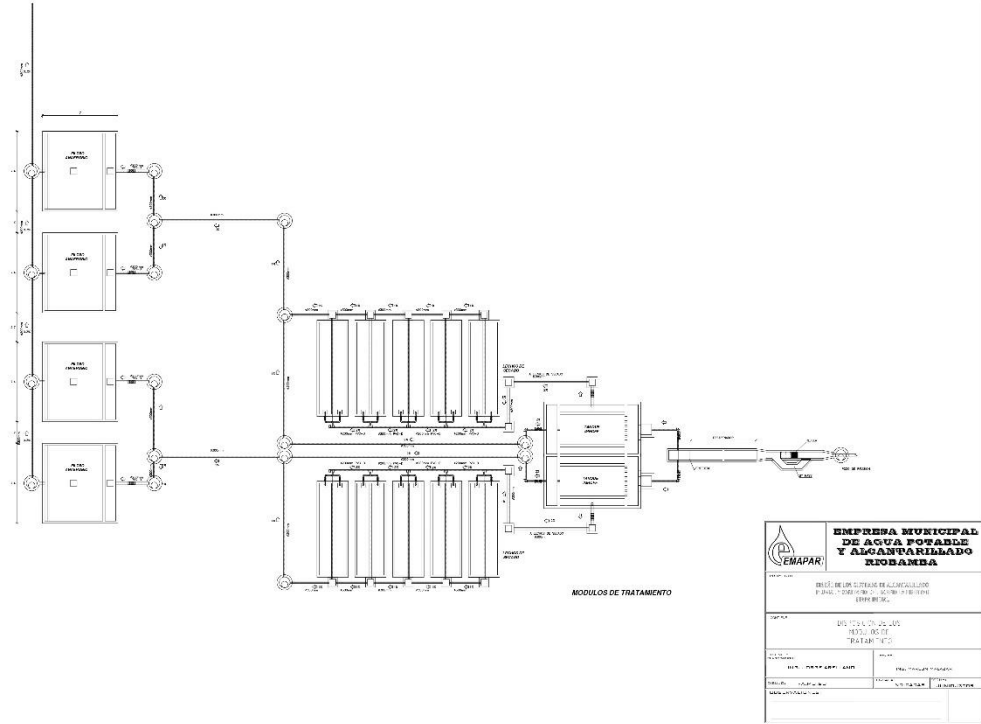
https://doi.org/http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572020000100068

Anexos

Anexo 1. Planos de PTAR actual







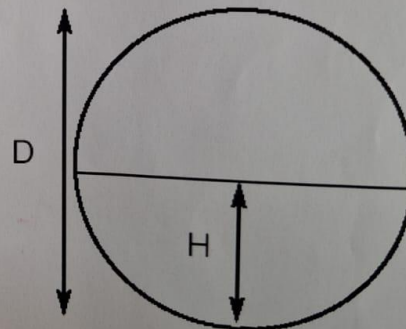
Anexo 2. Manual caudalímetro

Appendix A: Calculations for Partially Filled Round Pipes

B	C	B	C
0.01	0.0013	0.51	0.4027
0.02	0.0037	0.52	0.4127
0.03	0.0069	0.53	0.4227
0.04	0.0105	0.54	0.4327
0.05	0.0147	0.55	0.4426
0.06	0.0192	0.56	0.4526
0.07	0.0242	0.57	0.4625
0.08	0.0294	0.58	0.4723
0.09	0.0350	0.59	0.4822
0.10	0.0409	0.60	0.4920
0.11	0.0470	0.61	0.5018
0.12	0.0534	0.62	0.5115
0.13	0.0600	0.63	0.5212
0.14	0.0668	0.64	0.5308
0.15	0.0739	0.65	0.5404
0.16	0.0811	0.66	0.5499
0.17	0.0885	0.67	0.5594
0.18	0.0961	0.68	0.5687
0.19	0.1039	0.69	0.5780
0.20	0.1118	0.70	0.5872
0.21	0.1199	0.71	0.5964
0.22	0.1281	0.72	0.6054
0.23	0.1365	0.73	0.6143
0.24	0.1449	0.74	0.6231
0.25	0.1535	0.75	0.6318
0.26	0.1623	0.76	0.6404
0.27	0.1711	0.77	0.6489
0.28	0.1800	0.78	0.6573
0.29	0.1890	0.79	0.6655
0.30	0.1982	0.80	0.6736
0.31	0.2074	0.81	0.6815
0.32	0.2167	0.82	0.6893
0.33	0.2266	0.83	0.6969
0.34	0.2355	0.84	0.7043
0.35	0.2450	0.85	0.7115
0.36	0.2546	0.86	0.7186
0.37	0.2644	0.87	0.7254
0.38	0.2743	0.88	0.7320
0.39	0.2836	0.89	0.7384
0.40	0.2934	0.90	0.7445
0.41	0.3032	0.91	0.7504
0.42	0.3130	0.92	0.7560
0.43	0.3229	0.93	0.7612
0.44	0.3328	0.94	0.7662
0.45	0.3428	0.95	0.7707
0.46	0.3527	0.96	0.7749
0.47	0.3627	0.97	0.7785
0.48	0.3727	0.98	0.7816
0.49	0.3827	0.99	0.7841
0.50	0.3927	1.00	0.7854

H= Height of water; D= Diameter of pipe (in feet)
H/D = Column B
Read Column C adjacent to your pipe's B
C x D² = Filled area, A (sq.ft.)
A x Average Velocity = Volumetric flow (CFS)
CFS x 448.83 = Gallons/minute (GPM)
GPM x 1440 = Gallons/day (GPD)

Round Pipe



Anexo 3. Límites de descarga en cuerpos de agua dulce

TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetradoruro de carbono	Tetradoruro de carbono	mg/l	1,0

¹ La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Anexo 4. Análisis de las muestras



INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 24 - 4651



Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	-----	BARRIO LA LIBERTAD	
Atención a	Ing. Bryan Arellano		
Dirección	Riobamba		
Teléfonos	099 033 6371		
e-mail	fabricio.bas97@gmail.com		
Procedencia	Entrada a PTAR	Contenido declarado	1500 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	12-ago.-24	Fecha de análisis	Del 13 al 22 de agosto de 2024	Código Muestra	A-4364
Fecha Ingreso al Laboratorio	12-ago.-24	Fecha emisión informe	22 de agosto de 2024	Coord. muestra	17M 0761600 UTM 9812156
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanalisis			Coord. Análisis	17M 0763377 UTM 9862973
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	40,5	Temperatura amb. (°C):	20,1	

RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
DBO5	mg/l	414,15	PRO TEC 066 / HACH 8043, Ed. 10, 2017	± 3,72 %
DQO	mg/l	792	PRO TEC 014 / HACH 8000, Ed. 10, 2014; Standard Methods. Ed. 24. 2023, 5220 D	± 25,26 %

SIMBOLOGÍA


Parámetro acreditado
* Parámetro acreditado fuera del alcance

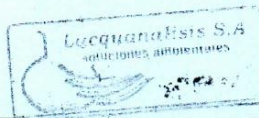
** Parámetro No acreditado
*** Parámetro Subcontratado Acreditado: N/A
**** Parámetro Subcontratado No Acreditado: N/A


Notas:

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en éste informe
- Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis
- Lacquanalisis S.A. se responsabiliza por la recolección, ingreso al laboratorio y el análisis de la muestra. En caso de una muestra entregada por el cliente, Lacquanalisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanalisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanalisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
- La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en www.lacquanalisis.com
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

PERSONAL RESPONSABLE:


Ing. Gisela Acosta
Analista




Dr. Harold Jiménez
Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
Teléfono: (03) 2420 106 · Móvil: 099-5363620 · info@lacquanalisis.com
Ambato, Ecuador - Sud América



“Contribuimos a la protección ambiental con análisis de laboratorio confiables”
www.lacquanalisis.com

INFORME DE RESULTADOS

No. LACQUA 24 - 4653



Acreditación N° SAE LEN 11-010
LABORATORIO DE ENSAYOS

Información proporcionada por el cliente		Información adicional:	
Nombre	----	BARRIO LA LIBERTAD	
Atención a	Ing. Bryan Arellano		
Dirección	Riobamba		
Teléfonos	099 033 6371		
e-mail	fabricio.bas97@gmail.com		
Procedencia	Salida de PTAR	Contenido declarado	1500 ml
Identificación muestra	Agua residual	Conservación de la muestra	Refrigeración
Descripción muestra	Líquido turbio	Toma de muestra / Muestreo	Cliente

Datos del Análisis:					
Fecha toma muestra	12-ago.-24	Fecha de análisis	Del 13 al 22 de agosto de 2024	Código Muestra	A-4366
Fecha Ingreso al Laboratorio	12-ago.-24	Fecha emisión informe	22 de agosto de 2024	Coord. muestra	17M 0761600 UTM 9812156
Lugar de realización de los ensayos	Laboratorio Lacquanalisis			Coord. Análisis	17M 0763377 UTM 9862973
Condiciones Ambientales:	Humedad (%):	40,5	Temperatura amb. (°C):	20,1	

RESULTADOS ANÁLISIS

Parámetro	Unidad	Resultado	Método	Incertidumbre
DBO5	mg/l	175,20	PRO TEC 066 / HACH 8043, Ed. 10, 2017	± 3,72 %
DQO	mg/l	345	PRO TEC 014 / HACH 8000, Ed. 10, 2014; Standard Methods. Ed. 24. 2023, 5220 D	± 25,26 %

SIMBOLOGÍA

Parámetro acreditado
* Parámetro acreditado fuera del alcance

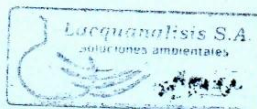
** Parámetro No acreditado
*** Parámetro Subcontratado Acreditado: N/A
**** Parámetro Subcontratado No Acreditado: N/A


Notas:

- Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas en éste informe
- Los análisis son realizados a temperatura ambiente, excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales no influyen en los resultados de este análisis
- Lacquanalisis S.A. se responsabiliza por la recolección, ingreso al laboratorio y el análisis de la muestra. En caso de una muestra entregada por el cliente, Lacquanalisis S.A. se responsabiliza exclusivamente de los análisis, el resultado se refiere a la muestra recibida por el laboratorio
- La información y muestras proporcionadas por el cliente son responsabilidad del cliente. Lacquanalisis S.A. declina toda responsabilidad por el uso de los resultados.
- Lacquanalisis S.A. se compromete a mantener la imparcialidad y la confidencialidad de información recibida y de los resultados generados
- La aceptación de este informe implica la aceptación de las políticas relativas al tema y declaradas en el SGC y en www.lacquanalisis.com
- Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

PERSONAL RESPONSABLE:


Ing. Gissela Acosta
Analista




Dr. Harold Jiménez
Director Técnico

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
Teléfono: (03) 2420 106 · Móvil: 099-5363620 · info@lacquanalisis.com
Ambato, Ecuador - Sud América



esPOCH | Facultad de Ciencias

**FACULTAD DE CIENCIAS
LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA Y SUELOS**

Resultados caracterización del agua tratada en el Laboratorio de Aguas ESPOCH
Fecha de Análisis día 1: 13 de agosto del 2024
Tipo de muestras: Agua Residual Entrada
Localidad: La libertad

Parámetros	Unidades	Límites	Agua tratada
pH	Unid.	6-9	7.33
Conductividad	µSiems/cm	-	1263
Sólidos totales	mg/L	1600	751.3
Fósforo total	mg/L	10	4.42
Nitritos	mg/L	10	0.004
Nitratos	mg/L	10	70
Coliformes fecales	UFC/100 ml	2000	1x10 ⁷
Coliformes totales	UFC/ 100 ml	Ausencia	1.4 x 10 ⁷
DB05	mg/L	100	450
DQO	mg/L	200	750

Fecha de Análisis día 1: 14 de agosto del 2024
Tipo de muestras: Agua Residual Entrada
Localidad: La libertad

Parámetros	Unidades	Límites	Agua tratada
pH	Unid.	6-9	7.13
Conductividad	µSiems/cm	-	1250
Sólidos totales	mg/L	1600	761.3
Fósforo total	mg/L	10	4.56
Nitritos	mg/L	10	0.005
Nitratos	mg/L	10	75
Coliformes fecales	UFC/100 ml	2000	1x10 ⁷
Coliformes totales	UFC/ 100 ml	Ausencia	1.4 x 10 ⁷
DB05	mg/L	100	455
DQO	mg/L	200	730

Dirección: Panamericana Sur km 1 1/2, Teléfono: 593 (03) 2 998200 Ext 245- 278
www.esPOCH.edu.ec



Fecha de Análisis día 1: 15 de agosto del 2024

Tipo de muestras: Agua Residual Entrada

Localidad: La libertad

Parámetros	Unidades	Límites	Agua tratada
pH	Unid.	6-9	7.10
Conductividad	μSiems/cm	-	1247
Sólidos totales	mg/L	1600	763.3
Fósforo total	mg/L	10	4.06
Nitritos	mg/L	10	0.045
Nitratos	mg/L	10	71
Coliformes fecales	UFC/100 ml	2000	1x10 ⁷
Coliformes totales	UFC/ 100 ml	Ausencia	1.4 x 10 ⁷
DB05	mg/L	100	463
DQO	mg/L	200	720

Fecha de Análisis día 1: 16 de agosto del 2024

Tipo de muestras: Agua Residual Entrada

Localidad: La libertad

Parámetros	Unidades	Límites	Agua tratada
pH	Unid.	6-9	7.08
Conductividad	μSiems/cm	-	1237
Sólidos totales	mg/L	1600	766.3
Fósforo total	mg/L	10	4.11
Nitritos	mg/L	10	0.035
Nitratos	mg/L	10	72
Coliformes fecales	UFC/100 ml	2000	1x10 ⁷
Coliformes totales	UFC/ 100 ml	Ausencia	1.4 x 10 ⁷
DB05	mg/L	100	457
DQO	mg/L	200	700

Fecha de Análisis día 1: 17 de agosto del 2024

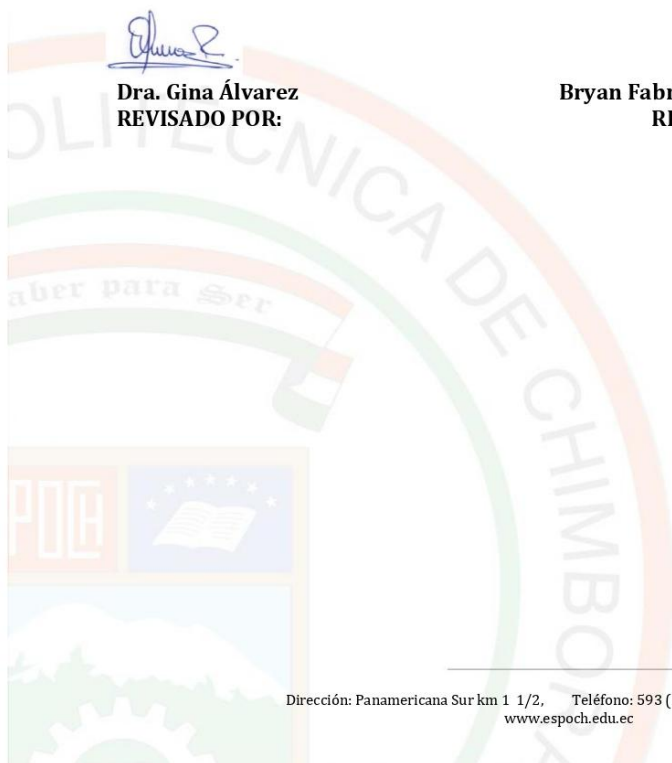
Tipo de muestras: Agua Residual Entrada

Localidad: La libertad

esPOCH | Facultad de
Ciencias

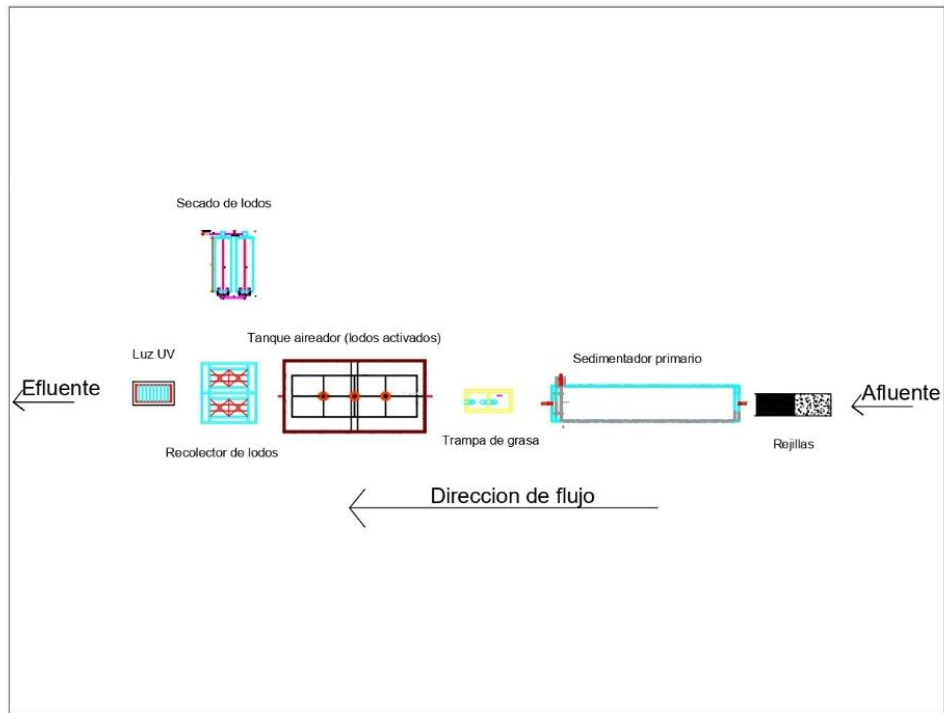
Parámetros	Unidades	Límites	Agua tratada
pH	Unid.	6-9	7.18
Conductividad	μSiems/cm	-	1227
Sólidos totales	mg/L	1600	786.3
Fósforo total	mg/L	10	4.01
Nitritos	mg/L	10	0.025
Nitratos	mg/L	10	62
Coliformes fecales	UFC/100 ml	2000	1x10 ⁷
Coliformes totales	UFC/ 100 ml	Ausencia	1.4 x 10 ⁷
DB05	mg/L	100	447
DQO	mg/L	200	690

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez
REVISADO POR:Bryan Fabricio Arellano Amaguaya
REALIZADO POR:

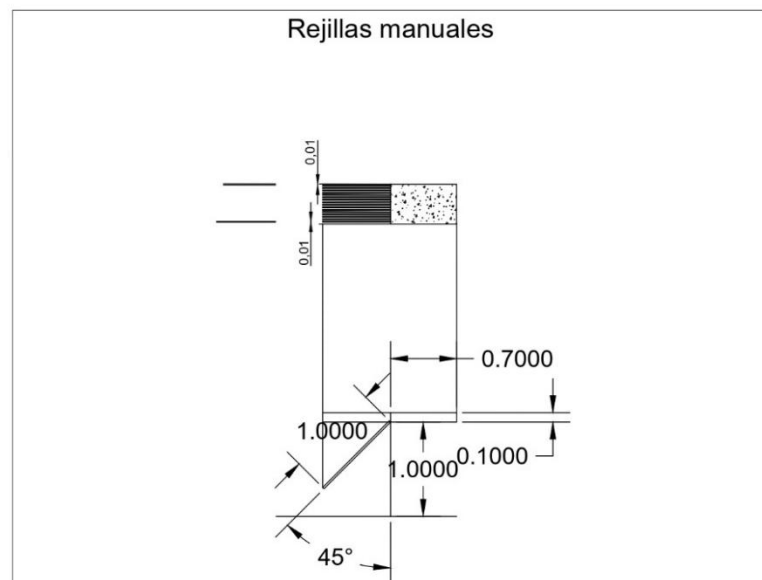
Anexo 5. Planos de diseño de repotenciación de la PTAR

Plano General

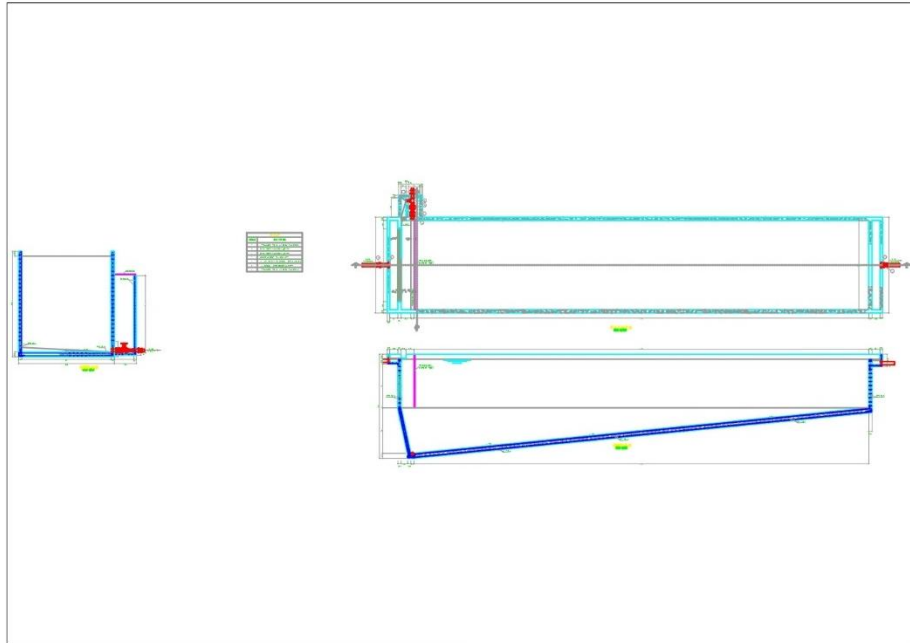


Plano por componente

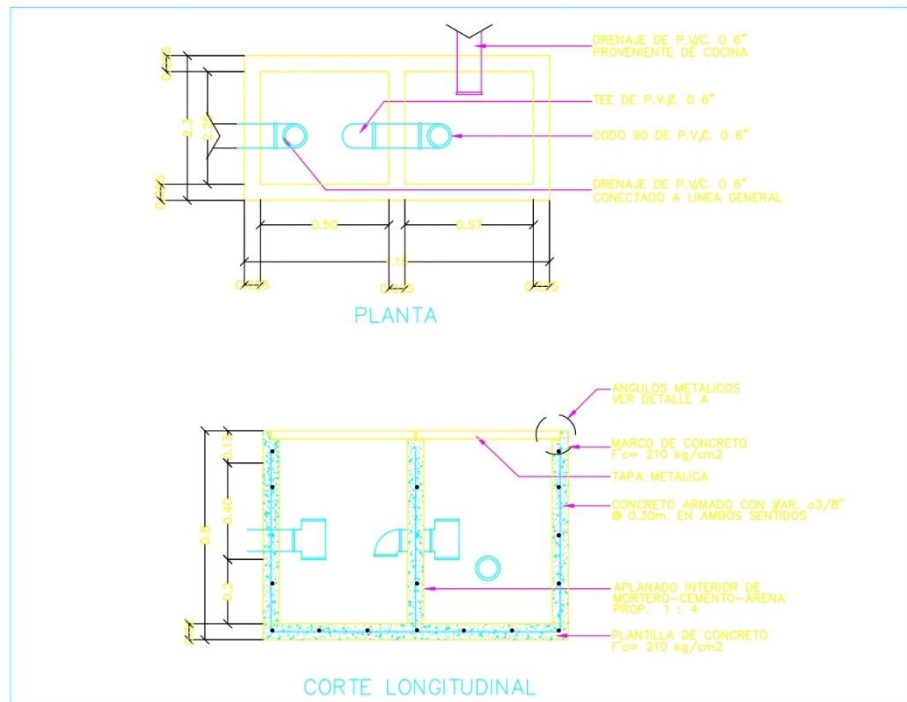
- Rejillas manuales



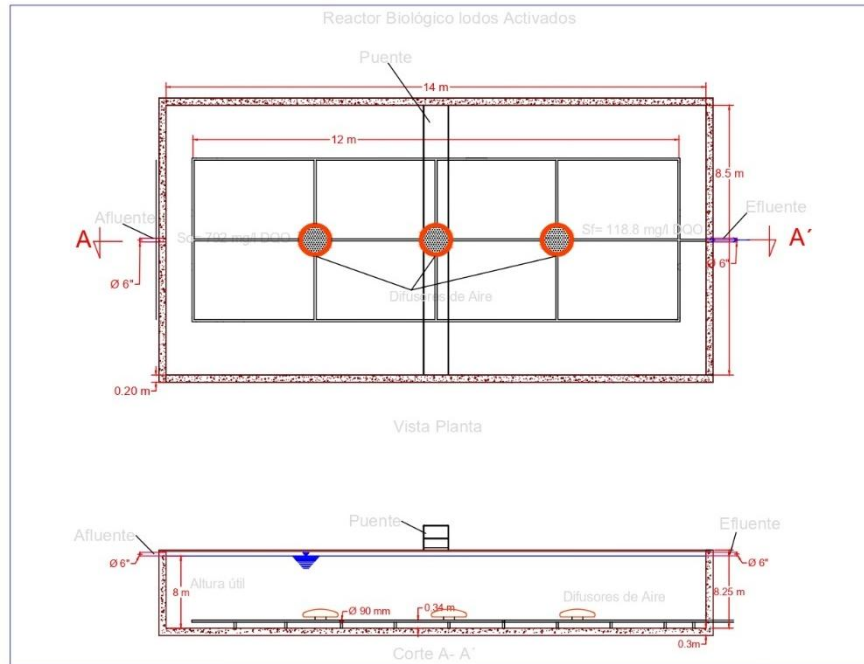
- Sedimentador Primario



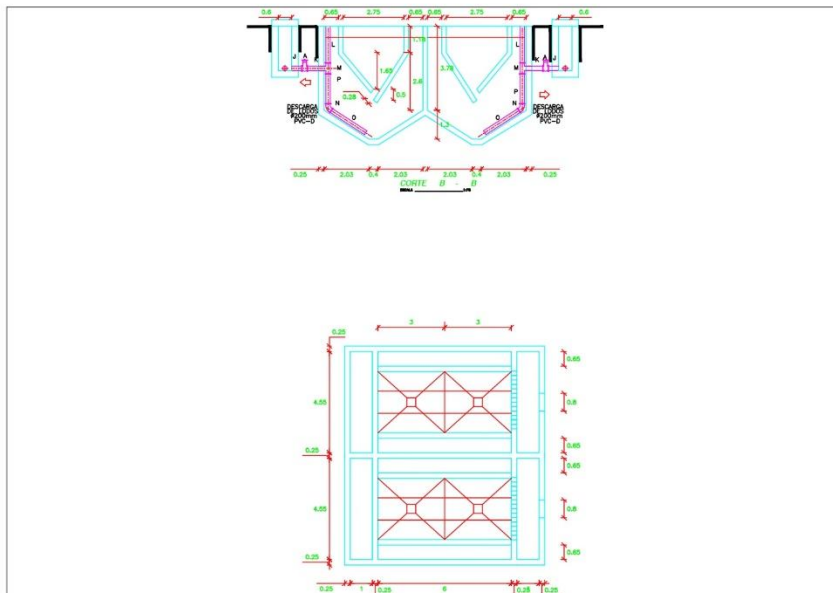
- Trampa de grasas



- Tanque aireador de lodos activados



- Recolector de lodos activados



- Desinfección UV

