

CAPÍTULO I.

ASPECTOS GENERALES.

1.1. Introducción.

la presente investigación trata sobre la evaluación de la incidencia que tienen los parámetros de grasas y aceites en el proceso de depuración y en la eficiencia de un reactor biológico de una planta de aguas residuales. así como también evaluar la eficiencia de remoción de un sistema de flotación. A través del diseño de este componente y la simulación de la planta de tratamiento mediante software se pretende demostrar qué tan conveniente es este método para mejorar el funcionamiento general de la planta de tratamiento de estudio. la eficiencia de remoción de grasas y aceites además de otros contaminantes como los sólidos disueltos totales. demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno. Se pretende buscar una reducción teórica - práctica de la cantidad de grasas y aceites para poder mejorar la eficiencia general de toda la planta de tratamiento de aguas residuales de San Blas.

1.2. Antecedentes.

Se encuentran diversas investigaciones enfocadas en el manejo y control de aguas residuales no domésticas. a través del empleo de microorganismos eficientes. trampas grasas. entre otras tecnologías; siendo estas tomadas como antecedentes para el trabajo que servirán de apoyo y aporte en el desarrollo del objetivo de estudio; los cuales se muestran a continuación:

Gurd et al. (2019). tuvieron como objetivo caracterizar la integral de las aguas residuales de tres establecimientos de servicio de alimentos para generar datos que respaldaran la selección de métodos apropiados de mitigación de aceites y grasas (AyG). Se utilizaron dos técnicas para cuantificar la proporción de AyG emulsionado y el tamaño de gota asociado de diferentes efluentes de lavado de cocina. Los resultados mostraron que más del 90 % de FOG del efluente del lavavajillas y alrededor del 35 % del fregadero estaba emulsionado. con tamaños de gota inferiores a 100 μm . muy por debajo de las capacidades de eliminación de los interceptores de grasa convencionales. Concluyeron que la eliminación de los contaminantes evaluados fue fácilmente controlada por medios biológicos.

Nur et al. (2021). este estudio se centró en el desempeño de las Trampas AyG de doble función para optimizar el proceso de separación de contaminantes. Los parámetros medidos para evaluar la eficacia del proceso fueron la concentración de pH. DQO. DBO. turbidez y sólidos en suspensión. Los hallazgos muestran que la eficiencia de AyG en movimiento es superior a 50.00%. Las cualidades generales de las aguas residuales mejoran significativamente. Durante el ciclo de tratamiento. los contaminantes AyG de las cocinas las aguas residuales son absorbidas por la trampa FOG de doble función. La eficacia de eliminación de aceites y grasas fue del 66.67%.

Carhuamaca y Mejía (2020). se evaluaron los resultados del número de particiones y el tiempo de contacto del efluente del gallinero en el receptor para determinar su capacidad para eliminar grasa y aceite. Se monitorearon cuatro aviarios en la zona de Huancayo y se tomaron 12 muestras de agua restantes para su recolección. Se determinó que la concentración media de grasa en el agua residual de los gallineros era de 309 mg/l.

Después se elaboró una muestra sintética con una concentración de 331.9 mg/L y se usó para realizar experimentos en la trampa de grasa para medir el tiempo requerido para que el agua fluya desde el inicio de entrada hasta la salida. Se determinó que el mayor porcentaje de remoción de grasa y aceite de 80.10% se logró utilizando una malla con un tiempo de contacto de 0.42 minutos. Concluyeron que el número de particiones era 1 y trabajaron con el menor caudal posible porque esto aumentaría el tiempo de contacto del agua remanente en el receptor.

Ortega (2018). el objetivo es evaluar el uso de colectores de aceite y grasa en aguas residuales domésticas de empresas comerciales y de servicios homologadas. Solo se encontró que 14 tenían trampas de aceite y grasa instaladas. Se encontró que el valor de DBO₅ a la entrada de la trampa superó los 600 mg/L. el valor máximo fue de 1052.32 mg/L y el valor mínimo de 682.05 mg/L. Al pasar por la trampa. el valor de DBO₅ disminuyó. pero la disminución no fue significativa. al igual que la DQO. Por lo tanto. la DBO₅/DQO de este tipo de muestra está entre 0.503 y 0.57. Llegaron a la conclusión de que solo un poco más del 50% de la materia orgánica en las aguas residuales se biodegrada durante el tratamiento.

Ayquipa (2021). el objetivo principal es evaluar la eficiencia de los separadores de grasas (trampas de grasas hidráulico-mecánico) para el pre tratamiento de aguas residuales de viviendas unifamiliares en el distrito de Lares-Cusco-2021. Él cree que el prototipo de vidrio fue elaborado para pruebas y observación; se realizaron un total de 32 pruebas de laboratorio por causa de cuatro parámetros (aceite, grasa, SST, DBO5 y DQO). Durante el estudio se observó cómo se relacionan el caudal y la duración de retención hidráulica y cómo afectan la remoción de aceite, grasa, STS, DBO5 y DQO de un separador de grasa. Concluyó demostrando la altura y la eficiencia de la grasa recolectada como sólidos sedimentados que lograron la tasa de flujo óptima para la eliminación de grasa del 99 %.

Cabrera, Montenegro y Jiménez (2021). el objetivo es evaluar el desarrollo del tratamiento de aguas residuales en la industria de embutidos en base a trampas de grasa. En la determinación de aguas residuales crudas de la industria productora de embutidos se encontró que DBO5, DQO, partículas en suspensión y aceite no cumplieron con los estándares, siendo los valores de 2314 mg/L; 3046 mg/l; 3131 mg/l y 2159 mg/l, individualmente. Se logró una trampa de grasa con una eficiencia de eliminación del 97 %, una eficiencia del 87 % para una retención de 14 horas en el filtro de gusano y un porcentaje de eficiencia del 89 % para una retención de 20 minutos en el sistema de flotación aireado. Concluyeron que las trampas de grasa son muy efectivas para combatir los contaminantes.

La flotación no es un proceso nuevo, al contrario, se ha venido utilizando desde hace varios siglos, desde el momento en que el hombre observó que algunos materiales se mantenían en la superficie del agua mientras que otros se precipitaban al fondo facilitando la separación de los materiales flotables, entonces la importancia de la flotación fue considerada por la economía de todo el mundo industrial a partir del año 1950 (Kyzas et al., 2019).

Más tarde, en 1860 se inicia la aplicación técnica de la flotación con aire disperso, en donde las burbujas mantenían las partículas en suspensión y, al mismo tiempo, facilitaban la adhesión burbuja-partícula y elevación de los minerales a la superficie (Ortiz-Oliveros, 2002).

La flotación en un sentido físico es el movimiento hacia arriba de partículas, flóculos u otros agregados (capas) debido a una fuerza de flotación neta, este es un concepto aplicado directamente en el tratamiento de aguas residuales para eliminar sustancias que son

específicamente más ligeras que el agua. los materiales más comunes que se han eliminado son los aceitosos y grasosos (Shammas et al., 2010).

1.3. Justificación de la investigación.

El proyecto se ubica en el barrio San Blas departamento de Tarija, Bolivia, donde actualmente se están haciendo diferentes trabajos para descontaminar los cursos de agua superficial. El gobierno boliviano está realizando un gran impulso a la implementación de plantas de tratamiento modernas, entre ellas la de lodos activados, esta tecnología alcanza altas eficiencias de tratamiento, pero el costo de implementación y operación también son muy altos. Actualmente en la planta de tratamiento de San Blas se ha detectado un fuerte problema en la cantidad de grasas y aceites que entran al tren de tratamiento cuyo pretratamiento no fue diseñado para esas circunstancias, como consecuencia de esto existen problemas en el tratamiento y la calidad final del agua obtenida, este contaminante muchas veces llega a la cámara de entrada debido a conexiones de industrias o establecimientos que no deberían estar conectados a la red de alcantarillado lo que ocasiona este problema de grasas y aceites pero por otro lado la mayor parte del tiempo este contaminante llega en gran medida debido a los vertidos domiciliarios. Esto se debe a un uso cotidiano de aceites y grasas en la preparación de alimentos, los cuales son comúnmente eliminados por los desagües sin un tratamiento previo adecuado, de esta manera se pretende demostrar que tan negativo es el efecto de este parámetro sobre el funcionamiento del reactor aerobio y como afecta a la eficiencia de todo el sistema.

La tecnología de lodos activados para su implementación requiere de infraestructuras de hormigón y equipos electromecánicos costosos. El estudio más profundo de las variables que intervienen en los procesos de tratamiento será de utilidad para la implementación más efectiva de nuevas plantas de tratamiento buscando optimizar el uso de los recursos disponibles, para esto se investigó acerca de las incidencias de la presencia de grasas y aceites en el tratamiento primario y secundario de la PTAR de San Blas.

1.4. Planteamiento del problema.

El tratamiento del agua residual utilizando la tecnología de lodos activados tiene costos económicos altos en la implementación y más aún en la operación y mantenimiento que ponen en riesgo su sostenibilidad en el tiempo.

Para evaluar el efecto de la variación de los parámetros de grasas y aceites sobre la eficiencia del reactor biológico es necesario conocer y analizar qué variables son las que permitirán altas eficiencias de purificación con un óptimo uso de la infraestructura, equipo e insumos disponibles, así como también la incidencia de grasas y aceites y sólidos suspendidos en general en el proceso de depuración. Los lodos activados funcionan con aireación artificial, que debe inyectarse con motores que consumen energía eléctrica las 24 horas del día y 365 días del año. Si los requerimientos de oxígeno son variables, también debería de serlo la inyección de oxígeno. Esta tecnología de tratamiento genera lodos residuales que deben ser tratados antes de su disposición final, el tratamiento de lodos tiene un costo aparte al del tratamiento del agua, por lo tanto, se debe buscar alternativas para reducir los lodos residuales sin aumentar el costo significativamente. Estas problemáticas son estudiadas actualmente, pero no hay una solución única ya que cada planta de tratamiento es diferente. Para dar más luces se requiere experimentar, probar varios escenarios de operación, variando y combinando la cantidad de agua entrante, calidad del agua residual entrante, calidad del agua exigida en la salida, tamaño y geometría de las instalaciones y otros aspectos. Volver a estabilizar el tratamiento tiene su costo y toma tiempo. Por el mismo motivo los operadores no se pueden capacitar en toma de acciones para diferentes escenarios porque hacer variaciones experimentales en una planta real de lodos activados puede ser muy riesgoso para el funcionamiento de la planta de tratamiento. Ante estas limitaciones una gran alternativa a probar y estudiar sus alcances es realizar diseños de forma teórica y poner a prueba su eficacia mediante pruebas de laboratorio o mediante modelación computarizada que ha demostrado porcentajes altos de similitud con respecto a los procesos reales de las PTARS

1.5. Pregunta de investigación.

¿La implementación de un componente que elimine grasas y aceites en el pre - tratamiento mejorará la eficiencia general de toda la planta de tratamiento de San Blas?

1.6. Hipótesis de Investigación.

Se podrá evaluar los efectos de la variación de la cantidad de grasas y aceites de entrada sobre los parámetros de funcionamiento del tratamiento de aguas residuales domesticas de lodos activados aplicando modelos computacionales de simulación y ofrecer una metodología estándar que podría ser utilizada en otras PTAR con tecnología similar de la zona.

1.7. Objetivos.

1.7.1. Objetivo General.

Evaluar el efecto de la variación de la cantidad de grasas y aceites y diseñar el componente para la remoción de grasas y aceites en exceso de la PTAR San Blas.

1.7.2. Objetivos Específicos.

- Determinar la incidencia que tienen las grasas y aceites en los procesos de remoción de materia orgánica posteriores al pre tratamiento.
- Determinar qué software es el más adecuado para simular la remoción de grasas y aceites en la PTAR de San Blas con tecnología de lodos activados.
- Realizar el muestreo y análisis de grasas y aceites en laboratorio para complementar la evaluación del sistema y tener valores de referencia para futuras investigaciones.
- Diseñar un componente para la remoción de grasas y aceites que mejore la calidad del efluente de la PTAR de San Blas aplicando el software GPS-X.
- Realizar una simulación de la PTAR San Blas con y sin el componente desengrasador para verificar el funcionamiento del mismo en condiciones actuales.
- Estimar el costo de la implementación del sistema de flotación y realizar un análisis de viabilidad del proyecto.

Marco referencial.

1.7.3. Marco Legal.

- Ley N.º 1333 de 27 de abril de 1992 del Medio Ambiente

Tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales. regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de Vida de la población.

- Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH)

Esta disposición legal reglamenta la Ley de Medio Ambiente 1333. de 27 de abril De 1992. en lo referente a la prevención y control de la contaminación hídrica. en el marco del desarrollo sustentable. En este reglamento se especifican.

- a) La clasificación de los cuerpos de aguas
- b) Las atribuciones y competencias de las distintas instituciones.
- c) Los procedimientos técnico-administrativos de la inspección y vigilancia. los servicios municipales y cooperativas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado. las descargas de efluentes en cuerpos de aguas y de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado.
- d) El monitoreo. evaluación. prevención y protección de la calidad hídrica. de la prevención y control de la contaminación y conservación de la calidad hídrica. de los sistemas de tratamiento. de la conservación de las aguas subterráneas. del reúso de aguas. de la contaminación de cuencas de curso sucesivo y de las infracciones y sanciones administrativas.

En este reglamento se especifican los límites de calidad de los cuerpos receptores (Anexo A-1) y los límites permisibles para las descargas líquidas (Anexo A.2).

Tabla 1. Clasificación de los cuerpos de agua según su aptitud de uso.

Orden	Usos	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
1	Para abastecimiento domestico de agua potable después de:				
	a) solo una desinfección y ningún tratamiento	Si	No	No	No
	b) tratamiento solamente físico y desinfección	No necesario	Si	No	No
	c) tratamiento fisicoquímico completo: coagulación. floculación. filtración y desinfección.	No necesario	No necesario	Si	No
	d) almacenamiento prolongado o pre - sedimentación. seguidos de tratamiento al igual que c)	No necesario	No necesario	No necesario	Si
2	Para recreación de contacto primario: natación. esquí. inmersión.	Si	Si	Si	No
3	Para protección de los recursos hidro biológicos.	Si	si	Si	No
4	Para riego de hortalizas consumidas crudas y frutas de cascara delgada que sean ingeridas crudas sin remoción de ellas	Si	No	No	No
5	Para abastecimiento industrial	Si	Si	Si	Si
6	Para la cría natural y/o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana	Si	Si	Si	Si
7	Para abrevadero de animales	No (*)	Si	Si	No
8	Para la navegación (***)	No (*)	Si	Si	Si

Fuente: Ley N° 1333. Reglamento en materia de contaminación hídrica (RMCH)

(Si) es aplicable. puede tener todos los usos indicados en las clases correspondientes.

(*) No en represas usadas para abastecimiento de agua potable.

(**) No a navegación a motor.

(***) No aplicable a acuíferos.

(*) Rango de viabilidad en relación con la temperatura media del cuerpo receptor.

(a). (c) y (e) aplicables a descargas de procesos mineros e industriales.

(b). (d) y (f) aplicable a descargas de proceso hidrocarburiíferos.

En caso de descargas o derrames de antimonio iguales o mayores a 2500kg. Se deberá respetar a la autoridad ambiental.

Tabla 2. Normas de calidad de agua para riego. Ley 1333. Cuadro A-1.. Valores máximos admisibles de parámetros en cuerpos receptores.

N	Parámetros	Unidad	Cancerígenos	Clase "A"	Clase "B"	Clase "C"	Clase "D"
1	pH		NO	6 a 8	6.0 a 9.0	6.0 a 9.0	6 a 9
2	Temperatura	°C	NO		+/-3°C de C receptor	+/-3°C de C receptor	+/-3°C de C receptor
3	Sólidos disueltos totales	mg/l	NO	1000	1500	1500	1500
4	Aceites y Grasas	mg/l	NO	Ausente	Ausente	0.3	1
5	DBO5	mg/l	NO	<2	<5	<20	<30
6	DQO	mg/l	NO	<5	<10	<40	<60
7	NMP Colifecales	N/100ml	NO	<50 y <5 en 80% muestras	<1000 y <200 en 80% muestras	<5000 y <1000 en 80% muestras	<5000 y <1000 en 80% muestras
8	Color mg Pt/l	mg/l	NO	<10	<50	<100	<200
9	Oxígeno disuelto	mg/l	NO	< 80% sat.	< 70% sat.	< 60% sat.	< 50% sat.
10	Turbidez	UNT	NO	<10	<50	<100 - <200***	<200 - <1000***
11	Sólidos sedimentables	mg/l- ml/l	NO	<10 ml/l	< 30 mg/l – 0.1 ml/l	< 50 mg/l – 1 ml/l	< 100 mg/l – 1 ml/l
12	Fosfato Total	mg/l	NO	0.4c. orto fosfato	0.5 c. Orthofosf.	1.0 c. Orthofosf	1.0 c. Orthofosf
13	Nitrógeno Total	mg/l	NO	5c. N	12 c. N	12 c. N	12 c. N
14	Sólidos flotantes		NO	Ausentes	Ausentes	Ausentes	< Ret. Malla 1mm2
15	Sulfatos	Mg/l	NO	300c. SO4	400c. SO4	400c. SO4	400c. SO4
16	Calcio	Mg/l	NO	200	300	300	400

Fuente: Reglamento en materia de contaminación hídrica. 2007.

1.7.4. Marco Espacial.

La ubicación del estudio será en el barrio San Blas en la provincia Cercado. departamento de Tarija (Bolivia).

1.7.5. Marco Temporal.

El periodo de estudio de esta investigación está previsto para los meses de enero a junio del año 2025.

CAPÍTULO II.

FUNDAMENTO TEÓRICO Y PRINCIPIOS DE SIMULACIÓN POR SOFTWARE.

2.1. Incidencia de grasas y aceites.

En cuanto al desengrasado, su objetivo es la eliminación de aceites, grasas, jabones o cualquier sustancia o compuesto más ligero que el agua. La eliminación de las grasas es importante puesto que puede provocar serios problemas en la instalación, así como interferir de forma negativa en la eficacia de las diferentes etapas del proceso. Algunos de los problemas típicos causados por las grasas son:

- Obstrucción de rejillas finas
- Dificultar la sedimentación en los decantadores
- Dificultan la correcta aireación de los reactores biológicos aerobios
- Incrementan el contenido de DQO en el agua residual.

Los aceites y las grasas suelen estar presentes en las aguas residuales de diversas industrias, como plantas de procesamiento de alimentos, refinerías de petróleo, o instalaciones de reparación de automóviles, por citar algunos ejemplos y son más difíciles de degradar biológicamente que otros materiales presentes aguas residuales.

Si no se eliminan previamente, estos depósitos de aceites y grasas pueden reducir la efectividad de los tratamientos biológicos y de membranas, creando bloqueos, obstruyendo y asfixiando los sistemas de tratamiento, y reduciendo la capacidad de digestión de lodos de los microorganismos utilizados en los procesos de tratamiento de aguas residuales (Hernández Muñoz, 2001).

Se entienden por grasas y aceites el conjunto de sustancias pobremente solubles que se separan de la porción acuosa y flotan formando natas, películas y capas iridiscentes sobre el agua, muy ofensivas estéticamente. En aguas residuales, los aceites, las grasas y las ceras son los principales lípidos de importancia. El parámetro grasas y aceites incluye ésteres de ácidos grasos de cadena larga, compuestos con cadenas largas de hidrocarburos, comúnmente con un grupo ácido carboxílico en un extremo; materiales solubles en solventes orgánicos, pero insolubles en agua debido a la estructura larga hidrofóbica del hidrocarburo. Estos

compuestos sirven como alimento para las bacterias. pues pueden hidrolizarse en ácidos grasos y alcoholes correspondientes (Metcalf & Eddy. 2004).

Figura 1. Presencia de solidos suspendidos en la PTAR San Blas



Fuente: Elaboración propia.

Las grasas y los aceites son muy difíciles de transportar en las tuberías del alcantarillado. reducen la capacidad de flujo de los conductos. son difíciles de atacar biológica y generalmente. se requiere su remoción en plantas de pre tratamiento. Las grasas y aceites pueden constituir un problema serio de polución en mataderos. frigoríficos. industrias empacadoras de carnes. fábricas de aceite de cocina y margarina. restaurantes. estaciones de servicio automotor e industrias de distinta índole. Su cuantificación es necesaria para determinar la necesidad del pre tratamiento. la eficiencia de los procesos de remoción y el grado de polución por estos compuestos.

En plantas convencionales de tratamiento. las grasas pueden permanecer en el efluente primario en forma emulsificador. A pesar de la destrucción de los agentes emulsificantes por el tratamiento biológico secundario. la grasa no utilizada se separa del agua y flota en los tanques de sedimentación secundaria. Las grasas y los aceites son uno de los problemas principales en la disposición de lodos crudos sobre el suelo; por ello. uno de los objetivos de

la digestión de lodos es la reducción de ellos. Además, las grasas y los aceites afectan adversamente la transferencia de oxígeno del agua a las células e interfieren con su desempeño dentro del proceso de tratamiento biológico aeróbico. La rotura de las emulsiones aceitosas puede requerir acidificación o agregación de coagulantes (Romero. 1996).

Los lípidos denominados aceites y grasas se caracterizan por ser insolubles en agua y solubles en ciertos solventes orgánicos no polares. Debido a sus propiedades, su presencia puede causar muchos problemas en tanques sépticos, sistemas de recolección y en el tratamiento de aguas residuales. (Crites y Tchobanoglous. 2000).

La densidad está comprendida en un rango de 0.92-0.94 g/l. Los efectos sobre el cuerpo receptor son:

- Impide la fotosíntesis, respiración y transpiración de seres animales y vegetales.
- Impide la transferencia de oxígeno desde la atmósfera a la masa del líquido, porque su solubilidad en aceites y grasas es muy baja y casi nula.

Este aire en forma de burbujas se dispersa en la corriente del vertido, creando una separación de contaminantes por pérdida de densidad aparente de las partículas asociadas y gracias a la coalescencia de los aceites y las grasas.

Concentraciones elevadas de grasas generan problemas en los sistemas biológicos de tratamiento por dos motivos. Si son concentraciones elevadas, al ser las grasas lentamente biodegradables por los microorganismos aerobios heterótrofos, obligan a operar con una carga másica efectiva (entendiéndola como DBO fácilmente biodegradable/MLSS, y no como DBO total) demasiado baja.

Además, la presencia de grasas favorece el crecimiento de filamentos que dan lugar a formación de flotantes, como actinomicetos nocardioformes y *Microthrix*, siendo este último causante también de problemas de esponjamiento del fango.

Figura 2. Presencia de sólidos suspendidos en el sedimentador primario



Fuente: Elaboración propia.

Cada kg de grasa supone entre 2 y 2.5kg de DQO. lo que implica que las grasas y aceites en su proceso oxidativo. consumen importantes cantidades del oxígeno disuelto en los reactores biológicos. pudiendo generar situaciones puntuales de deficiencia.

Pero el problema no acaba aquí. las grasas se oxidan. pero no son fácilmente degradables aeróbicamente. por lo que éstas pueden continuar su tránsito aguas abajo del reactor. manteniéndose presentes en todo el proceso incluso. excepcionalmente. en la salida de la planta. Una parte. sedimentan arrastradas por los sólidos en suspensión que decantan en los reactores biológicos y otra es retirada por los rascadores superficiales de los decantadores secundarios. De esta manera. parte de las grasas es retirada con los fangos.

Las grasas. por sus propiedades tixotrópicas. dificultan la deshidratación de los fangos por medios mecánicos. reduciendo la capacidad de extracción del agua de estos sistemas. De esta manera. procedimientos de deshidratación como la centrifugación. no alcanzan sus valores objetivos entre 20-30%. quedándose en valores de 10-15%. dependiendo de la concentración de grasas que contengan.

Las grasas que no se extraen por los procesos descritos. continúan el proceso. pudiendo colmatar filtros de arenas. si se dispone de tratamientos terciarios. y se vierten al medio. En

Tabla 3. Problemas de contaminación del agua.

Contaminación del agua	Problemas	Efectos	Unidad de Análisis
Fuentes difusas (descargas que no se pueden localizar fácilmente)	-Desaparición de vida marina -Generación de enfermedades en la población de humanos. -Repercusión por envenenamiento en especies de otros ecosistemas. -Afecta el intercambio de gases -Detiene el paso de la luz solar.	-Carcinogenicidad. -Neurotoxicidad. -Descenso de fertilidad. -Seguridad alimentaria. -Reducción de oxígeno.	Guadañaran. et al.. 2017. p.6. Mijangos. et al.. 2015. p.12. Aurora. 2015.
Fuentes puntuales descargan agentes contaminantes en lugares localizados y específicos)	-Presencia de natas. -Presencia de espumas. -Taponamiento de los sistemas de desagües. -Ruptura de la cadena alimenticia. -Taponamiento de tuberías.	-Contaminación de suelos. Nocivos para el desarrollo de vegetales. -Contaminación de cuerpos de agua. -Degradación de ecosistemas. -Daño a la salud de las personas.	Vidales. et al.. 2012. p.29 Rincón. et al.. 2021. p.2. Rondón. et al.. 2016. p.79.
Fisicoquímica y metales	-Sustancias tóxicas. -Problemas en el tratamiento de aguas residuales. -Estables e inmiscibles con el agua. -Efluentes con contaminantes tóxicos.	-Contaminación de suelos. -Contaminación de cuerpos de agua. -Presencia superficial de natas y espumas. -Entorpecimiento del tratamiento. -Nocivo para el ambiente y la salud humana.	Díaz. et al.. 2021. p.43 Vidales et al.. 2012. p.29 Correia Da Silva. et al.. 2020. p. 4478.

Fuente: Hidalgo Guevara et al.. 2022

Tabla 4. Tipos de actividades generadoras de aceites y grasas.

Tipos de actividades	Resultados/productos	Unidad de análisis
petroquímicas	a) Productos químicos b) aguas producidas con alta salinidad y compuestos orgánicos c) hidrocarburos Mono aromáticos, aromáticos poli cíclicos, e hidrocarburos totales de petróleo. d) Compuestos orgánicos formados de carbono, hidrogeno y oxígeno.	Gurd. et al.. 2018 Correia Da Silva. et al.. 2020 Baptista Dos Anjos. et al.. 2020 Diaz. et al.. 2021 Rocha e Silva. et al.. 2018 Vidales. et al.. 2012
Industria automotriz	e) Grupo de las sustancias llamadas lípidos f) combinación de ácidos grasos saturados y no saturados. g) Concentración de metales, detergentes, sales y materia orgánica.	Severiche et al.. 2013 Canales. et al.. 2021
Industria de la restauración	h) Generación de nutrientes, lodos activados, compuestos orgánicos, películas de lípidos detergentes y actinomicetos. i) Suspensiones coloidales, macromoléculas orgánicas disueltas y las emulsiones de aceites.	Yang. et al.. 2012 Briones Ponce. et al.. 2020.
Industria láctea	j) Poli fenoles, contaminación orgánica y materia sólida. k) Lodos activados residuales, materia orgánica y AyG.	Del Amgen. et al.. 2021 Oñate y Chinchilla. 2021
Refinerías de aceite vegetal	l) Alto contenido orgánico, sales de sodio de ácidos grasos libres, sulfatos y fosfatos.	Chatoui. et al.. 2017
Industria de biodiesel	m) Compuestos monoalquil de esteres grasos de cadena larga, triglicéridos, metil y glicerol. n) Ácidos grasos insaturados.	Firman. et al.. 2018 Duarte. et al.. 2020.

Fuente: Hidalgo Guevara et al.. 2022

2.2. Depuración de grasas y aceites en Plantas de tratamiento de aguas residuales.

Esta etapa del pre tratamiento tiene por misión la separación (por acción de la gravedad) de las grasas y demás materias más ligeras que el agua. En ciertas ocasiones se prescinde de los desengrasadores, procediéndose a la retirada de las grasas y flotantes en los tratamientos primarios (Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Sedimentadores Primarios). En otras, en el caso de los Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA), la etapa de desengrasando es de gran relevancia, para evitar la formación de costras en la superficie del reactor. En el tratamiento de las aguas residuales urbanas se hace uso de diferentes tipos de desengrasadores.

2.2.1. Desengrasadores Estáticos.

En ellas, las aguas residuales pasan a través de un depósito con un elemento (tubería sumergida, tabique deflector), que obliga a las aguas a salir por su parte inferior. lo que facilita que los componentes de menor densidad que el agua queden en la superficie.

La retirada de las grasas se hace manualmente, usando un sistema de recogida superficial, o simplemente de un recogedor de hojas de piscina (Figura 5).

Figura 3. Extracción de grasas mediante tuberías acanaladas y recogedor de grasas.



Fuente: Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales.

2.2.2. Desengrasadores Aireados.

En este caso se inyecta aire por la parte inferior del desengrasador, con el objetivo de emulsionar las grasas y de mejorar su flotación. Este tipo de desengrasador se suele usar combinado con la operación de desarenado. En los desengrasadores aireados la extracción de las grasas acumuladas en su superficie se lleva a cabo mediante el uso de rasquetas barredoras o de sistemas air-lift. Estos dispositivos evacúan una mezcla agua/grasa, que luego se separa usando concentradores de grasas. En ellas, las grasas se acumulan en la superficie, desde donde se barren periódicamente con rasquetas giratorias, que las conducen al depósito de almacenamiento, las aguas retiradas retornan a la entrada de la PTAR, mientras que las grasas se almacenan en un contenedor, para transportarlos sanitarios, junto al resto de residuos extraídos del pre tratamiento.

2.3. Métodos para la remoción de grasas y aceites.

Las aguas residuales domésticas vienen con una gran carga de estos, cuando se permite el ingreso a los tanques existe la posibilidad que sean descargados al efluente. Estos tienden a

acumularse sobre la superficie de los sistemas de tratamiento. Para la remoción se aplica un sistema de barrido superficial de espuma o natas. al momento de ingresar las aguas residuales pasa a una zona de remoción de grasas por medio de un vertedero control. donde estas se atrapan y se retiran (Crites & Tchobanoglous. 2000).

Tabla 5. Tratamientos y propuestas de solución para reducir aceites y grasas.

Tipos de tratamientos	Propuestas de solución	Unidad de análisis
Trampas de grasas	Planta de tratamiento fisicoquímicos y los microbiológicos que cumpla con los siguientes procesos (separador mecánico. tanque séptico. filtros percoladores. laguna anaerobia y aerobia)	Sánchez y Arias. (2018).
Tratamientos convencionales y no convencionales	Ozonización catalítica heterogénea (POCH)	Hernández. et al.. (2019)
tratamientos biológicos y fisicoquímicos	Uso de goma arábiga (método A) cabello humano (método V) y resina epoxi (método C)	Vidales. et al.. (2012)
Tratamientos convencionales y no convencionales	Separación física mediante aireación de columnas y filtración	Bracho. et al.. (2013)
Biorremediación con microorganismos que metabolizan y degradan aceites y grasas	Biodegradación in vitro de hongos lipolíticos	Moya y Moya (2020)

Fuente: Hidalgo Guevara et al.. 2022.

Tabla 6. Métodos comunes empleados para la remoción de solidos suspendidos y aceites y grasas.

Tecnología	Principio de funcionamiento	Ventajas	Desventajas
Decantación por gravedad	Basado en la gravedad específica de los fluidos inmiscibles	Adecuado para la eliminación de grandes sólidos en suspensión y aceite libre. Equipos sencillos con mínimos costes de operación y mantenimiento. Se puede usar eficazmente como primer paso de tratamiento para eliminar aceites y grasas	Las gotas pequeñas y la emulsión agua-aceite estable requieren un tiempo de sedimentación excesivo No apto para la eliminación de aire disuelto
Tratamiento químico	Adición de coagulantes y floculantes para des emulsionar. coalescer y agregar particular de aceite para formar gotas más grandes	Los flóculos de aceite más grandes son mucho más fáciles de eliminar Contribuye a la eliminación de carbono sólido y orgánico	Los coagulantes inorgánicos convencionales podrían plantear problemas adicionales debido a la presencia de contenido metálico en los efluentes. Se produce un gran volumen de lodo Contribuye al costo de operación
Flotación por aire	Un mecanismo de flotación donde la densidad total de aceite/partículas sólidas se	Partículas más ligeras y pequeñas difíciles de asentar y	Difícil de eliminar el aceite disuelto y por lo general

	reduce significativamente al agregarlas con burbujas de gas. Estos agregados se elevarán rápida y eventualmente se desprenderán.	se pueden eliminar fácilmente flotando con gas. Los sistemas de flotación de gas son compactos y ocupan poco espacio en comparación con los tanques de sedimentación por gravedad.	requiere pre tratamiento químico para eliminar el aceite emulsionado. No es rentable producir grandes volúmenes de micro burbujas que son más pequeñas que las gotas de aceite.
--	--	---	--

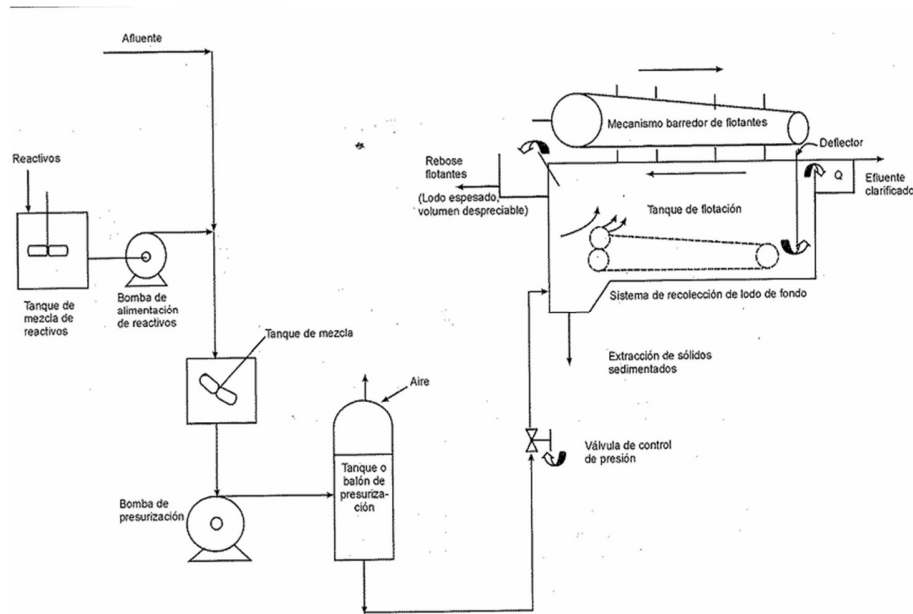
Fuente: Legarda Bermúdez Gustavo Adolfo. 2022.

2.3.1. Flotación por aireación.

En los sistemas de flotación por aireación, las burbujas de aire se introducen directamente en la fase líquida por medio de difusores o turbinas sumergidas. La aireación directa durante cortos periodos no es efectiva al conseguir que los sólidos floten. no se recomienda la instalación de tanques de aireación para flotar las grasas, aceites y sólidos presentes en las aguas residuales normales, pero ha resultado exitosa en algunas aguas residuales con tendencia a generar espumas.

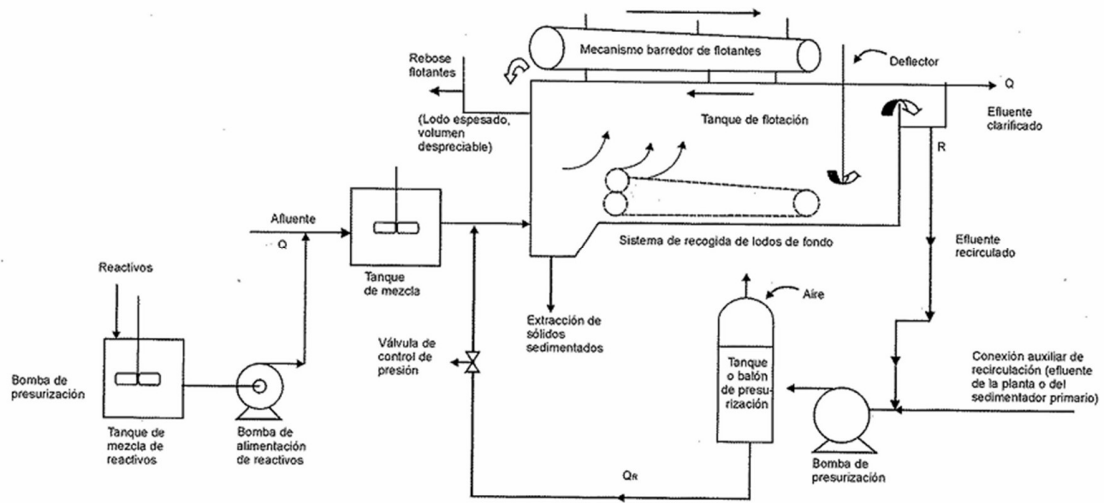
Dado que la flotación depende de la superficie de las partículas para obtener los parámetros de proyecto necesarios, hay que realizar estudios en planta piloto y ensayos de laboratorio. Los factores a considerar en el proyecto de equipos de flotación son la concentración de sólidos, la cantidad de aire que se utilizará, la velocidad ascensional de las partículas y la carga de sólidos. Por ser el método más comúnmente empleado, en el siguiente análisis se estudia la flotación por aire disuelto.

Figura 4. Esquema de un sistema de flotación por aire disuelto sin recirculación



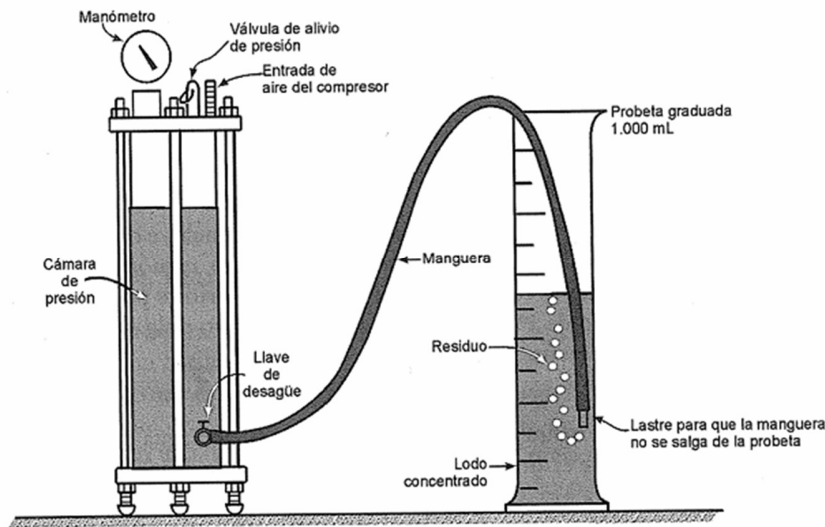
Fuente: Romero. A. J. & Rojas. (2017).

Figura 5. Esquema de un sistema de flotación por aire disuelto con recirculación.



Fuente: Romero. A. J. & Rojas. (2017).

Figura 6. Esquema del aparato de ensayo de flotación por aire disuelto.



Fuente: Romero, A. J., & Rojas. (2017).

La eficacia de un sistema de flotación por aire disuelto depende del valor de la relación entre el volumen de aire y la masa de sólidos (A/S) necesario para obtener un nivel de clarificación. Esta relación es variable en función de cada tipo de suspensión y puede determinarse experimentalmente empleando una célula de flotación de laboratorio.

La flotación es la operación en la que se generan pequeñas burbujas de gas, para que se adhieran a partículas presentes en el agua para que sean elevadas hasta la superficie, de donde se arrastran y sacan del sistema. En un sistema de flotación por aire disuelto, el aire es disuelto en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas y seguidamente se libera la presión al nivel atmosférico. Cuando se trata de sistemas de bajas presiones, la liberación de todo el flujo puede ser por medio de una bomba a presión de 275 a 350 kPa (40 a 50 lb/in²) con aire comprimido añadido en la succión de la bomba; así todo el flujo se mantiene en un tanque de retención bajo presión por algunos minutos para que haya tiempo de que el aire sea disuelto y de allí es admitido a través de una válvula de presión-reducción al tanque de flotación donde el aire sale de la solución en burbujas muy finas. La unidad de flotación sirve para separar las partículas adheridas a las burbujas del agua y el saturado de aire disuelto donde el agua se somete a elevadas presiones, que van de 4 a 8 bar. La presión que satura el agua se introduce en la unidad de flotación a través de una válvula que reduce la presión

rápidamente. lo cual provoca el exceso de gas saturado que precipita en forma de diminutas burbujas cuyo tamaño es de 30 a 80 μm . (Riera. et al. 2015).

Fundamento Teórico.

La flotación por aire disuelto se usa para eliminar sólidos suspendidos y coloidales por flotación. que se da de forma ascendente al disminuir su densidad aparente (Wang et al.. 2005).

El líquido de alimentación es el agua residual industrial que se introduce en un tanque de presurización. donde se satura bajo presión entre 2-6 atmósferas. con un tiempo de retención de 0.5 a 3 minutos suficientes para disolver el aire en agua residual a tratar. Desde el tanque de retención o presurización. el agua saturada se libera en la cámara de flotación con una válvula reductora de presión u otro dispositivo. para minimizar los efectos turbulentos de la despresurización. Por ello. la repentina reducción de la presión en la cámara de flotación provoca la liberación de burbujas de aire microscópicas de 80 micras de diámetro medio o más pequeño. que se adhieren a partículas suspendidas o coloidales en el agua de proceso en la cámara o columna de flotación. esto da resultados que. por el aire arrastrado. dan una gravedad especificada neta menor que la del agua y provocan el fenómeno de flotación. El tiempo de retención en la columna de flotación suele ser entre 3 a 60 minutos según las características de efluente generado en diferentes procesos y del rendimiento de la unidad de flotación (Shammas & Bennett. 2010; Wang et al.. 2005).

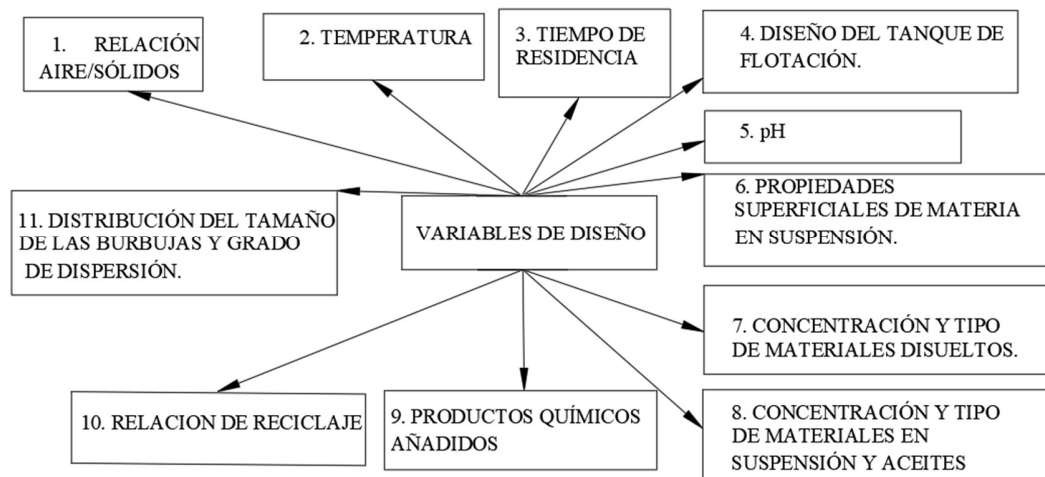
Esta tecnología tan eficiente surgió en el siglo XX y se reconoció como un método para separar partículas. sus primeras aplicaciones se hicieron en la industria metalúrgica para separar metales y en la industria de papel para recuperar fibras de papel. Hoy en día ha tomado mucha importancia en su aplicación en aguas residuales industriales. ya que se utiliza como un proceso de separación líquido – sólido. similar al proceso de sedimentación o el proceso de filtración. este es un medio considerado para una verdadera eliminación de contaminantes de las aguas residuales. también se eliminan todas aquellas sustancias que se asocian a los sólidos mediante fenómenos de adsorción (Rubio et al.. 2002; Shammas & Bennett. 2010).

Según (Ortiz-Oliveros. 2002) en un sistema de flotación por aire disuelto. el proceso de flotación puede explicarse en dos etapas:

- a) Presurización o disolución de la cantidad de aire en agua.
- b) Generación e introducción de las burbujas en la fase acuosa.

Parámetros generales de diseño del sistema DAF.

Figura 7. Variables generales de un sistema DAF.



Fuente: Adaptado de Aulenbach et al.. 2010; Shammass et al.. 2010; L. K. Wang et al.. 2005).

Relación Aire – Sólidos.

Desde los orígenes del funcionamiento del sistema DAF, tanto en un sistema de convencional como de recirculación, el cambio que han experimentado es en el cambio de operación del sistema.

El valor relación aire-sólidos (A/S) son la base fundamental de los parámetros de diseño y control que es importante conocer, de este depende la eficiencia del sistema (Ortiz-Oliveros, 2002).

Solubilidad.

En el sistema la presión está íntimamente relacionada con la solubilidad del aire en el agua y es necesario alcanzar el tamaño idóneo de burbuja, lo que implica una gran importancia en un posible cambio en el parámetro A/S . La solubilidad de gas experimenta un grado de aumento con el incremento de la presión parcial y se reduce mientras más alto sea el valor de

la temperatura. por eso se considera un parámetro clave. ya que determina la cantidad y tamaño de las burbujas en el tanque o columna de flotación.

Según la ley de Henry. la concentración de un gas disuelto es función de su presión relativa. Su solubilidad se puede calcular por la expresión a continuación.

$$C' = \frac{C(P' - P_v)}{(760 - P_v)}$$

Dónde:

- C' = Solubilidad del aire en agua. a la presión absoluta P' . ml aire/L de agua
- P' = Presión absoluta del aire. mm de Hg
- C = Solubilidad del aire en agua. a la presión de una atmósfera. mL aire/L de agua
- P_v = presión de vapor del agua. mm de Hg

Tabla 7. Variabilidad de la solubilidad de agua en aire en diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Valor (ml aire / L agua)
0	29.2
5	25.7
10	22.8
15	20.6
20	18.7
25	17.1
30	15.7

Fuente: Romero. A. J.. & Rojas. (2017).

Cantidad de Aire Liberado.

En la práctica cuando se trabaja de forma experimental no todo el aire que se suministra a un tanque de presurización se disuelve en el agua. por lo cual se propone un factor de

Correlación f (Ortiz-Oliveros. 2002).

La cantidad de aire liberado. al reducir la presión a presión atmosférica (ecuación 15.2). se cuantifica a partir de la diferencia de solubilidades calculadas según la ecuación

$$CT - CL = C \left[\frac{f((PT - PV) - (PL - PV))}{760 - PV} \right]$$

Dónde:

CT = solubilidad de saturación del aire. a la presión de operación del tanque. *mL aire/L*

CL = solubilidad de saturación del aire. a la presión local atmosférica. *mL aire/L*

PT = presión de operación del tanque. *mmdeHg*

PL = presión local atmosférica. *mmdeHg*

C = solubilidad de saturación del aire a una atmósfera de presión. *mL aire/L de agua*

PV = presión de vapor del agua a la temperatura del ensayo. *mmdeHg*

f = fracción de saturación alcanzada en el tanque de presurización. generalmente 0.5 a 0.8

La fracción de saturación (f) depende de la turbulencia. del tiempo de contacto. de la superficie de contacto entre el aire y el agua y de otros factores. Generalmente se adopta. para el diseño de unidades de flotación. un valor de $f=0.5$

La eficiencia de un sistema de flotación por aire disuelto depende. principalmente. del valor de la relación entre la cantidad de aire y la de sólidos requerida para lograr un determinado grado de clarificación. Este valor variará con cada tipo de suspensión y se puede determinar. experimentalmente. utilizando una celda de flotación de laboratorio.

Dividiendo la ecuación por la concentración de sólidos suspendidos. se obtiene la relación adimensional aire/sólidos. A/S .

$$\frac{A}{S} = \frac{Cd * f((PT - PV) - (PL - PV))}{So(760 - PV)}$$

Dónde:

A/S = relación adimensional aire/sólidos

d = densidad del aire a las condiciones del problema. *mg/ml*

S_o = concentración de sólidos suspendidos del afluente. mg/L

C = solubilidad de saturación del aire a una atmósfera. mil/L

PT = presión absoluta de operación. mm de Hg

PL = presión local atmosférica. mm de Hg

PV = presión de vapor del agua a la temperatura de operación. mm de Hg

f = fracción de aire disuelto. a la presión PT . generalmente 0.5

Tabla 8. Valores de la relación A/S para diferentes concentraciones de solidos suspendidos y presiones manométricas.

Sólidos suspendidos S_o (mg/L)	Presión manométrica suministrada por el compresor. P^T						
	40 psi (276 kPa. 2.068 mm Hg)	50 psi (345 kPa. 2.585 mm Hg)	60 psi (414 kPa. 3.102 mm Hg)	70 psi (483 kPa. 3.619 mm Hg)	80 psi (552 kPa. 4.136 mm Hg)	90 psi (621 kPa. 4.653 mm Hg)	100 psi (690 kPa. 5.170 mm Hg)
1.000	0.017	0.023	0.029	0.034	0.040	0.046	0.052*
900	0.019	0.025	0.032	0.038	0.045	0.051	0.057
800	0.021	0.029	0.036	0.043	0.050	0.057	0.065
700	0.024	0.033	0.041	0.049	0.057	0.066	0.074
600	0.028	0.038	0.048	0.057	0.067	0.076	0.086
500	0.034	0.046	0.057	0.069	0.080	0.092	0.103
400	0.043	0.057	0.071	0.086	0.100	0.115	0.129
300	0.057	0.076	0.095	0.114	0.134	0.153	0.172
200	0.085	0.114	0.143	0.172	0.201	0.229	0.258
100	0.170	0.226	0.286	0.343	0.401	0.459	0.517

Fuente: Romero. A. J., & Rojas. (2017).

La densidad del aire en mg/mil a la temperatura T . °C. a la presión H en cm de Hg. se puede calcular por la expresión a continuación.

$$d = \frac{1.293}{1 + 0.00367T} \left(\frac{H}{76} \right)$$

2.3.2. Criterios para la adición de coagulantes químicos o polímeros.

Estándares operativos de plantas industriales muestran que los sistemas DAF suelen utilizarse para reducir concentraciones de FOG (aceites y grasas) hasta niveles entre 100 y 150 mg/L al punto de descarga. sin requerir aditivos adicionales en muchos casos (Shende et al., 2022)

- en una planta de fabricación de jabón. el DAF logró mantener niveles de FOG por debajo de 100 mg/L sin la necesidad de coagulación previa
- En sistemas con coagulación. se ha reportado que dosis de 100–500 mg/L de floculantes permiten remover partículas menores a 10 μm (más finas)
- En la normativa de una municipalidad (ej. Essex. Vermont). el límite permitido de FOG en descarga es 100 mg/L; se considera adecuado que el DAF solo requiera coagulantes si el afluente supera ampliamente este valor

Tabla 9. Valores típicos de los parámetros de diseño para sistemas de flotación.

Parámetro	Valor	
	Intervalo	Típico
Pre tratamiento químico		
Dosis de coagulante	según ensayo de jarras	-
Tiempo de floculación (min)	5 -30	20
Gradiente de velocidad (s-1)	10 - 150	70
Tanque de flotación		
Tiempo de retención (min)	5 - 15	10
Profundidad (m)	1 - 3.2	2.4
Carga superficial (m/d)	120 - 360	192
Borde libre (m)	0.1 -0.4	0.3
Sistema de saturación de aire		
Presión de operación (kPa)	350 - 620	485
Presión de operación (Psi)	50 - 90	70
Relación de recirculación (%)	6 - 30	6 - 12
tamaño de burbujas (μm)	10 - 120	40 - 50

Fuente: Romero. A. J. & Rojas. (2017).

2.3.3. Porcentajes de remoción de grasas y aceites por diferentes métodos.

Tabla 10. Métodos de remoción de aceites y grasas y sus porcentajes de eficiencia.

Tratamiento	Porcentaje de remoción	Unidad de análisis
Coagulación y floculación con sales inorgánicas	97.35% sulfato de aluminio	Toapanta et al.. 2021
Bacterias lipolíticas y tela filtrante de polipropileno	85% y 99% remoción frecuente llegando a aumentar y disminuir	Rincón et al.. 2021
Medio filtrante con cascara de coco (cocos nucifers)	98.55% eficiencia de remoción	Rondón et al.. 2020
Filtros y columnas de separación	99.9% de remoción de aceites y grasas.	Bracho et al.. 2013
Ozonización catalítica heterogénea (POCH)	15.50% disminución de grasas y aceites	Hernández et al.. 2019
Biodegradación in vitro mediante hongos lipolíticos	95.5% promedio de biodegradación de aceites y grasas	Moya y Moya. 2020

Tecnología de membranas (ultrafiltración)	89% al 100% de retención de grasas y aceites	Firman. et al.. 2018
adsorbentes naturales	99.55% remoción de grasas y aceites	Guilcamaiua. et al.. 2019
Materiales naturales (bagazo de caña y paja de arroz)	95% de adsorción de aceites y grasas	Díaz. et al.. 2021
Poli electrolito catiónico (coagulante)	27% al 62% de eficiencia de remoción de grasas y aceites.	Oñate. et al.. 2020
Coagulación. floculación y sedimentación empleando sales inorgánicas (Al III)	92.72% de remoción de grasas y aceites	Briones. et al.. 2020

Fuente: Hidalgo Guevara et al.. 2022.

Tabla 11. Evaluación de propuestas de solución más efectivas.

Tipos de tratamientos	tratamiento	Porcentaje de remoción.	Unidad de análisis
Tratamientos convencionales	Filtros y columnas de separación	99.99% de remoción de aceites y grasas	Bracho et al.. 2013
	Coagulación. floculación y sedimentación empleando sales inorgánicas (Al III)	92.72% de remoción de aceites y grasas	Briones et al.. 2020
	Coagulación y floculación con sales inorgánicas	97.35% sulfato de aluminio 36.33% con sulfato de hierro II	Toapanta et al.. 2021
	Poli electrolito catiónico (coagulante)	27 a 62% de eficiencia de remoción de aceites y grasas	Oñate et al.. 2020
	Ozonización catalítica heterogénea	15.50% disminución de aceites y grasas	Hernández et al.. 2019
Tratamientos no convencionales.	Tecnología de membranas (ultrafiltración)	89% al 100% de retención de grasas y aceites	Firman. et al.. 2018
	Adsorbentes naturales	99.55% remoción de grasas y aceites	Guilcamaiua. et al.. 2019
	Bacterias lipolíticas de tela filtrante de polipropileno	85% y 99% remoción frecuente llegando a aumentar y disminuir	Rincón et al.. 2021
	Medio filtrante con cascara de coco (cocos nucifera)	98.55% eficiencia de remoción	Rondón et al.. 2020
	Biodegradación in vitro mediante hongos lipolíticos	95.5% promedio de biodegradación de aceites y grasas	Moya y Moya. 2020

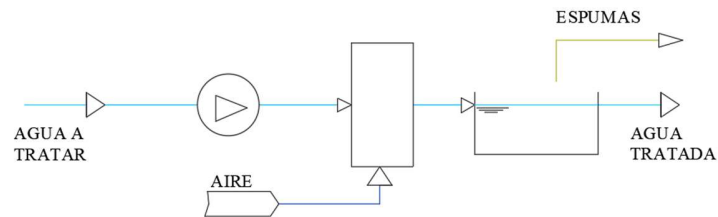
Fuente: Hidalgo Guevara et al.. 2022.

2.4. Pruebas experimentales de sistemas de flotación en efluentes industriales.

Unidades de flotación por aire disuelto utilizado en laboratorios. En otros estudios. se realizó pruebas de laboratorio de sistemas DAF a escala que lograron determinar diferentes

eficiencias de remoción de aceites y grasas las cuales se van a tomar como referencia para esta investigación.

Figura 8. Esquema del sistema de flotación por aire disuelto con presurización total del efluente.



Fuente: Elaboración propia.

2.4.1. Primera etapa

En la primera etapa, sin adición de coagulante químico (poli cloruro de aluminio) se desarrolló un diseño experimental con 12 tratamientos. Se trabajó con dos variables a cuatro niveles cada uno: presión: 30, 40, 50 y 60 psi, y en porcentaje de reciclo: 30, 40, 50 y 60%. valores seleccionados con base en las condiciones usuales de operación de los equipos de flotación por aire disuelto. cada experimento se realizó una sola vez y en cada caso se midieron los parámetros DQO, DBO5, aceites y grasas, sólidos totales, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales, según el método APHA para cada parámetro. Se seleccionó el porcentaje de reciclo que presenta el mayor porcentaje en la disminución de los contaminantes.

Tabla 12. Dimensiones de la cámara de saturación.

Dimensiones	Unidad	Valor
Diámetro.	m	0.20
Altura	m	0.80
Espesor	mm	8
Material.	-	PVC
Capacidad.	L	16.65
Presión de trabajo	psi	0 - 60

Fuente: Aguilar Arias Diana Elizabeth. 2014.

Tabla 13. Dimensiones del tanque de flotación.

Dimensiones	Unidad	Valor
Diámetro.	m	0.07
Altura.	m	0.6
Material.	-	PVC
Capacidad.	L	2

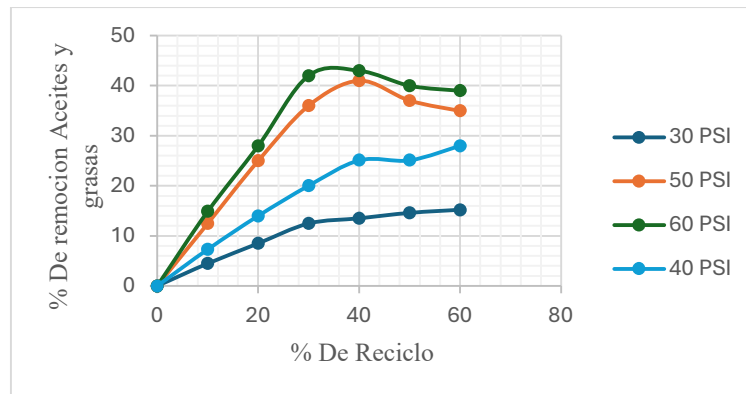
Fuente: Aguilar Arias Diana Elizabeth. 2014.

2.4.2. Funcionamiento del sistema.

La eficiencia de la unidad de flotación básicamente depende del acoplamiento de los tres elementos que conforman el sistema. cámara de saturación. tanque de flotación y compresor. como lo indica la figura.

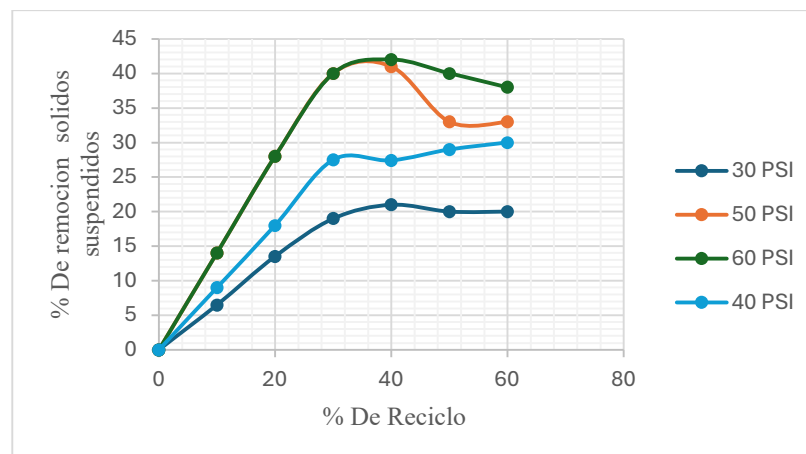
Resultados obtenidos de la determinación de las mejores condiciones de presión de saturación. porcentaje de recirculación y dosis de coagulante del sistema de flotación por aire disuelto.

Figura 9. Porcentaje de remoción de aceites y grasas.



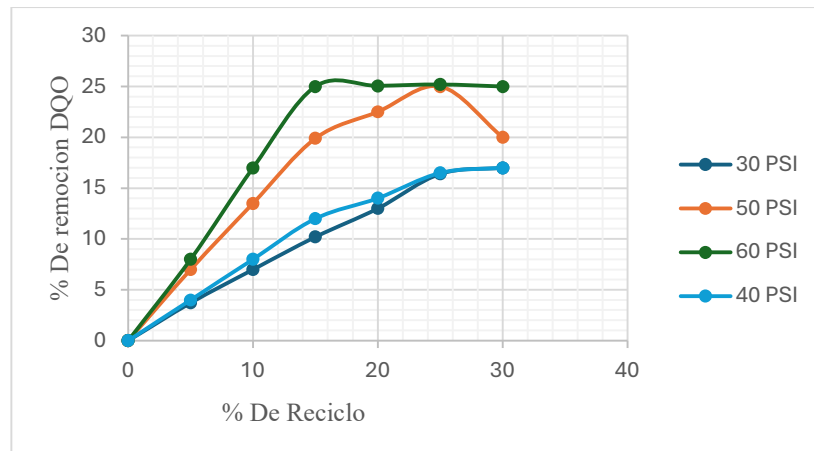
Fuente: Aguilar Arias Diana Elizabeth. 2014.

Figura 10. Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos.



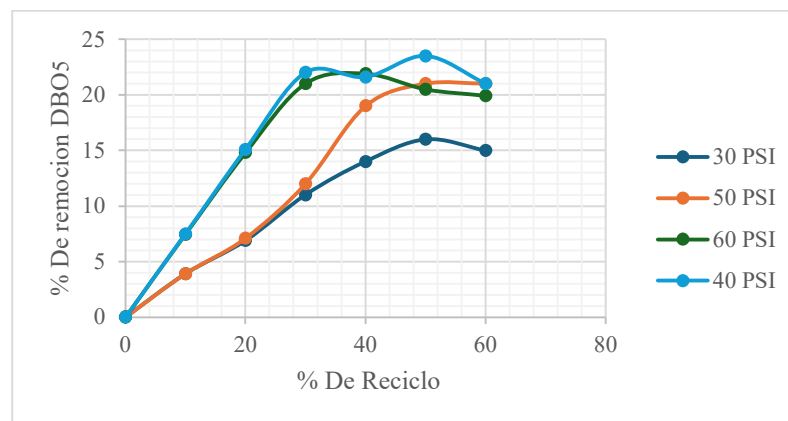
Fuente: Aguilar Arias Diana Elizabeth. 2014.

Figura 11. Porcentaje de remoción de DQO.



Fuente: Aguilar Arias Diana Elizabeth. 2014.

Figura 12. Porcentaje de remoción de DBO₅.



Fuente: Aguilar Arias Diana Elizabeth. 2014.

Tabla 14. Condiciones de operación de la primera etapa del proceso de flotación por aire disuelto.

Variables	Unidad	Valor
Presión de trabajo	psi	60
Porcentaje de reciclo	%	40

Fuente: Aguilar Arias Diana Elizabeth.

Tabla 15. Porcentajes de remoción de contaminantes obtenidos durante el estudio de la primera etapa del sistema de flotación por aire disuelto.

Parámetro	Unidad	Valor inicial	Valor final	% de remoción
DQO	mg O ₂ /L	7500	5600	25.3
DBO ₅	Mg O ₂ /L	3850	3020	21.5
Aceites y grasas	mg/L	721.33	410.66	43.0
Sólidos suspendidos	mg/L	301	175	41.8
Sólidos Totales	mg/L	2176	1357	37.6
Sólidos Sedimentables	mil/L	12	7.1	40.8

Fuente: Aguilar Arias Diana Elizabeth. 2014.

2.4.3. Criterios de Diseño adoptados para la prueba experimental.

La fracción de saturación asumida de 0.5, generalmente se adopta para el diseño de unidades típicas de flotación. El tiempo requerido para lograr la separación óptima de los contaminantes y permitir obtener un alto grado de clarificación del efluente. Caso similar sucede con el tiempo de retención en el tanque de presurización considerado de 2 minutos, el mismo que corresponde al tiempo que debe permanecer el volumen de agua dentro del tanque para que alcance la concentración de aire disuelto requerido. Otro factor asumido es la carga superficial de $240 \frac{m^3}{m^2 \cdot día}$ que permite el cálculo del área del tanque de flotación. Y por último un factor de seguridad de 1.35, que indica seguridad ante el fallo. (Crites y Tchobanoglous, 2002).

Tabla 16. Criterios asumidos para el diseño del sistema de flotación

Parámetros	Unidad	Valor
Fracción de saturación, tanque de presurización	%	0.5
Tiempo de retención, tanque de flotación.	min	30
Tiempo de retención, cámara de presurización	min	2
Carga superficial	M ³ /m ² *día	120
Factor de seguridad	-	1.35

Fuente: Aguilar Arias Diana Elizabeth. 2014.

2.4.4. Disposición de residuos producidos por el sistema de flotación.

1. Separación inicial

- a) Trampas de grasa: Antes de que el agua residual llegue a la planta, en muchos casos, se instalan trampas de grasa o separadores en lugares como restaurantes, industrias alimenticias, etc.

- b) Desarenado res y desengrasado res: Ya en la planta. en la línea de retratamiento. se usan unidades que eliminan arenas. sólidos gruesos y también grasas flotantes.

2. Manejo dentro de la planta

- a) Sistemas de flotación: Son muy comunes para remover grasas. aceites y sólidos finos. Se inyectan burbujas de aire. que "atrapan" las grasas y las llevan a la superficie para ser retiradas.
- b) Sedimentadores primarios: Aunque están pensados más para sólidos sedimentables. también atrapan parte de las grasas si estas forman una capa superficial.

3. Recolección y disposición

- a) Espuma o nata: Las grasas extraídas (conocidas como "nata") se almacenan en tanques o contenedores especiales.

Opciones de disposición:

- a) Coprocesamiento en hornos cementeros (cuando es viable. porque tienen alto poder calorífico).
- b) Codigestión anaerobia: En digestores de lodos. mezclando las grasas con otros residuos orgánicos para producir biogás.
- c) Compostaje: Mezclándolas adecuadamente con materiales ricos en carbono (aunque debe hacerse con mucho control para evitar problemas de olor).
- d) Disposición final en rellenos sanitarios: Como último recurso. si no hay opciones de valorización.

4. Problemas si no se manejan bien

- Taponamientos de tuberías y bombas.
- Interferencia con procesos biológicos (las grasas pueden formar capas que impiden el intercambio de oxígeno).
- Formación de espumas indeseadas.

- Malos olores.

2.4.5. Tratamiento de residuos de grasas y aceites

A nivel nacional las grasas y aceites que son empleadas durante el proceso de fritura de alimentos en los servicios de alimentación al público deberán tener un contenido menor o igual al 25% de compuestos polares totales (CPT), y aquellos que no cumplan con el límite CPT establecido, deben disponerse e incluirse en un programa de manejo integral de residuos conforme a lo estipulado en la Ley para la Gestión Integral de Residuos. Es por esto que se muestra la importancia de generar nuevos ámbitos de conocimiento sobre la disposición y metodologías de tratamiento de los residuos de las trampas de grasas y aceites. Los residuos de grasas y aceites obtenidos, poseen varias formas de tratamiento tales como disposición en rellenos sanitarios o vertederos, procesos de digestión anaeróbica y generación de biodiesel. Actualmente, la disposición de estos residuos en rellenos sanitarios, es la técnica más empleada a nivel global, sin embargo, está siendo regulada por muchos países, fomentando el empleo de nuevas formas de tratamientos, los cuales generan formas más limpias de su uso, en el tratamiento de los FOG, el compostaje es una aplicación adecuada, este proceso se basa en la descomposición biológica de los compuestos orgánicos que deben estar bajo condiciones aeróbicas controladas. En definición, el compostaje consiste en un tratamiento aeróbico biológico en donde organismos mesofílicos y termofílicos transforman la materia orgánica en dióxido de carbono, agua, amoníaco y compost, el cual puede inferir en resultados positivos al medio ambiente debido a la eliminación amigable de este tipo de residuos, sin embargo, si el proceso no se monitorea de manera adecuada genera la inhibición del crecimiento de la diversidad, además los lixiviados pueden contener la formación de sustancias tóxicas que generan problemas en el medio ambiente.

Se ha demostrado que el compostaje es un proceso de tratamiento muy exitoso para aceites minerales, como por ejemplo los hidrocarburos. Asimismo, para el proceso de compostaje, es posible utilizar residuos de procesos de extracción de aceite como el aceite de oliva. Sin embargo, el compostaje de residuos de alimentos ricos en aceites y grasas no es una práctica Común.

En la producción de compostaje se deben considerar y controlar cuatro variables importantes como lo son la humedad, la temperatura, el pH y el tamaño de partículas (asociado con la oxigenación). La tabla 18 resume las características de dichas variables.

Tabla 17. Resumen de metodologías para el compostaje a partir de trampas de grasas y aceites.

Estudio	Metodología	Variables críticas	Resultado principal
Azhdarpour, Mortazavi y Moussavi	Estudios de la actividad lipolítica de 3 cepas para la eliminación de aceites en aguas residuales	Nutrientes, pH, temperatura	Eliminación del 98% de residuos por el uso de <i>Pseudomonas</i>
Ruggieri, Artola, Gea y Sánchez	Evaluación del desempeño de procesos de compostaje estáticos	Humedad del sistema, nivel de oxígeno	El compostaje estático presenta una menor eficiencia de reducción de grasas y aceites
Lemus, Lau, Branion y V. Lo	Evaluación de la biodegradación de residuos de jardín y desechos sintéticos de alimentos, ricos en lípidos en condiciones aeróbicas	Porcentaje de lodos en las trampas de grasa	El tratamiento de residuos de jardín con 5% de lodos de trampas de grasa presentó un mejor rendimiento
Stanaitiene, et al.	Implementación de una nueva tecnología de compostaje para residuos con alto contenido de grasas	Relación carbono/nitrógeno, temperatura	La relación C/N adecuada es de aproximadamente 30/1 en condiciones ideales de compostaje
Alfonso, Carpinteyro, Vélez y Teón	Producción de biofertilizante añadiendo estiércol	pH, humedad, cenizas, materia orgánica, DBO ₅ , grasas y aceites	Eficiencia de degradación: Mezcla (E30 - L70) 70% Mezcla (E40 - L60) 92%
Tziritza, Papanikolaou y Quilty	Adición de <i>Pseudomonas Putida</i> GP 1 a procesos de compostaje que contienen bacterias <i>Bacillus spp</i>	Producción de biomasa, actividad de lipasa	La adición de las <i>Pseudomonas</i> logra reducir el tiempo de eliminación de las grasas y aceites
Lauprasert, Chansiriratanana y Paengjan	Utilización de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Bacillus subtilis</i> y <i>Staphylococcus epidermidis</i> en la degradación de grasas y aceites	DBO ₅ , pH y sólidos solubles	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> presenta mayor actividad de la enzima lipasa. La actividad de la lipasa fue mayor en el método continuo
Rojas	Fabricación de compost utilizando el tratamiento enzimático y no enzimático	Tasa de generación, humedad, % de grasas, capacidad calorífica, metales pesados, la materia orgánica, el carbono y el nitrógeno	Es recomendable la utilización de ambos abonos (con y sin enzimas)

Fuente: Jimenez Yuliana. (2021).

2.5. Simulación comunicacional de plantas de tratamiento de aguas residuales.

2.5.1. Pautas de modelado del proceso de lodos activados.

La calibración es el ajuste de los parámetros del modelo (cinéticos y estequiométricos) para lograr una buena descripción del proceso. donde exista una buena aproximación de los resultados obtenidos (simulados) con los datos reales de la planta. Según Nuhoglu et al. (2004): “en la calibración. valores son asignados a los parámetros usados en el modelo tal que la diferencia entre las predicciones del modelo y las observaciones estén en su mínimo”.

El procedimiento de calibración del modelo es quizás. el paso más importante de todo el proceso de la simulación; es por ello. que diferentes autores y organizaciones han tratado de establecer “pautas de modelado” (protocolos) con la finalidad de estandarizar dicho procedimiento. ya que. al hacerlo. los investigadores aseguran que se mejorará la calidad de los resultados y que podría reducir los Esfuerzos requeridos. Otros beneficios de establecer pautas de modelado. según Rieger et al. (2013). son los siguientes:

- Conducir a resultados que son típicamente más comparables. reproducibles y transferibles
- Proveer una guía para definir claramente los requerimientos. limitaciones y expectativas
- Mejorar el aseguramiento de la calidad/control de calidad
- Ayudar a modeladores inexpertos a través de un proyecto

Tabla 18. programas existentes para el diseño y simulación de plantas de tratamiento de agua residual.

Simulador	Creador	Origen
ASIM	EAWAG	Suiza
DESASS	Calagua group – UPV	España
BIOWIN	Envirosim Associates L. d	Canadá
EFOR	DHI. Inc.	Dinamarca
GPS-X	Hydromantis Inc.	Canadá
SIMBA	IFAK-system Gmbh	Alemania
STOAT	WRc Group	Reino Unido
WEST	Hemmin N.	Bélgica
EDAR 1.0	CEIT – Cadagua	España
AQUASIM	EAWAG	Suiza

Fuente: Sánchez Ramírez, J. E. et al.. (2015).

2.5.2. GPS – X

GPS-X (General Purpose Simulator) ha sido desarrollado por Hydromantis. Inc. empresa consultora canadiense fundada en 1985. especializada en la ingeniería ambiental. La primera versión data de 1991 y actualmente se distribuye la 8.1. Se puede descargar de Internet la versión completa (funciona como demo) así como abundante material escrito sobre la aplicación (Gustaf et al., 2000; Pons et al., 1999).

La simulación se puede desarrollar en estado estacionario y simulación dinámica con presentación en tiempo real de las gráficas de evolución de las variables seleccionadas. Permite generar esquemas de la planta piloto, soporte y conversión de unidades, desarrollo matemático mediante análisis numérico, simulación de plantas sin límite de tamaño, comunicación directa con office y Matlab, comparación de datos reales y simulados, informes estadísticos y simulación de controladores (Chan et al., 2003; Nasr et al., 2011).

Mantis es una versión creada por Hydromantis a partir del modelo ASM1 para describir de una forma más precisa la desnitrificación aerobia.

2-Step Mantis: Modificación del modelo Mantis con nitrificación en dos fases y New General: ASM1 ampliado a la eliminación del fósforo (Modelo de Peter Dold publicado en 1997). Existen también una versión que utiliza los modelos anaerobios, como el caso del Basic anaerobic model (Andrews-Barnett) que incluye: destrucción de sólidos suspendidos volátiles, formación de ácidos grasos volátiles, metano, dióxido de carbono, pH y toxicidad por amonio. El modelo más conocido es el ASM1 (IWA) que incluye: destrucción de sólidos suspendidos volátiles, cambios en los ácidos grasos volátiles (acetato, propionato, valeriato y butirato), producción de biogás (metano, hidrógeno y dióxido de carbono), pH, inhibición (amoníaco, ácido acético e hidrógeno).

Los modelos biológicos utilizados por el simulador comprenden: ASM1 para la transformación y eliminación del carbono y del nitrógeno, ASM2d para la transformación y eliminación del carbono, del nitrógeno y del fósforo, ASM3 para la transformación y eliminación del carbono y del nitrógeno.

Luego de la publicación del modelo ASM1 en 1987, la IWA desarrolló el modelo ASM2, que incluía por primera vez la remoción del fósforo, y el ASM2d, que consideraba la

desnitrificación en dicho proceso. En 1998. se publicó el trabajo que presenta el modelo ASM3. una mejora respecto al modelo ASM1. Posteriormente se han desarrollado variantes de dichos modelos como el modelo ASM2d+TUD en 2004. o el modelo UCTPHO+ en 2007. Cabe señalar que hay muchos más modelos e innumerables extensiones de los modelos disponibles. Algunos de estos son patentados y otros están disponibles en simuladores específicos (Rieger et al.. 2013).

2.5.3. Simulación de la PTAR con sistema de flotación.

Se realizó en el software GPS-X una simulación de un componente que se asemeja al desengrasador diseñado para la PTAR de san Blas. Para esto se definieron algunos parámetros de diseño que se van a explicar a continuación.

2.5.4. Modelo MANTIS utilizado por el programa GPS-X

antes de entrar a lo que es la simulación por software. debemos tener claro de qué manera funciona el programa y cuál es la tecnología que utiliza. Una de las configuraciones que se deben realizar en el programa es la selección del modelo biológico y la selección del modelo de influente. un modelo biológico se refiere a un modelo matemático que describe el comportamiento de los procesos que ocurren en el reactor de lodos activados. este modelo matemático se describe mediante series de ecuaciones diferenciales que tienen el propósito de simular la degradación de la materia orgánica así como la nitrificación y la desnitrificación. conociendo este concepto entonces podemos seguir con la configuración inicial del programa y observar que para el componente de flotación por aire disuelto tenemos 3 alternativas de modelo biológico. las cuales son MANTIS. ASM1 y ASM3 del cual para la presente investigación se optó por utilizar el primero.

El modelo MANTIS es idéntico al Modelo de Lodos Activados N.º 1 (ASM1) de la IAWPRC (International Association on Water Pollution Research and Control). a excepción de las siguientes modificaciones:

- Se introducen dos procesos de crecimiento adicionales. para permitir el crecimiento de Biomasa con nitrato como nutriente.
- Funciones de conmutación para nitrógeno como nutriente (y fósforo. en las bibliotecas correspondientes) y alcalinidad para el crecimiento.

- Coeficientes de semi saturación separados para el oxígeno para el crecimiento aeróbico y anóxico. para permitir para la calibración de la nitrificación/desnitrificación simultánea.

Los procesos de crecimiento adicionales explican el crecimiento observado de los organismos durante las condiciones de bajo amoníaco y alto contenido de nitratos. En estas condiciones. los organismos pueden absorber nitrato como fuente de nutrientes. La dependencia de la temperatura de los parámetros cinéticos se describe mediante una ecuación de Arrhenius. La desnitrificación aeróbica está incluida en el modelo según la modificación de Münch (Münch et al., 1996). En muchos casos los modeladores han visto niveles de nitrato sobre predichos en sus modelos debido a las simplificaciones en la resolución espacial (idealmente tanques de aireación mixtos. sin limitación de difusión de oxígeno en núcleos de flóculos. etc.). La nueva modificación. que consiste en un nuevo coeficiente de semisaturación de oxígeno anóxico. hace que las tasas de crecimiento anóxico sean ajustables independientemente del crecimiento aeróbico. y el coeficiente en sí mismo es una indicación del grado de desnitrificación aeróbica que se produce dentro de la planta modelada. El valor predeterminado de la nueva constante se establece igual a la media saturación de oxígeno aeróbico (*GPS-X Technical Reference*).

2.5.5. Modelo de lodos activados N° 1. (ASM1).

El modelo ASM1 es considerado un modelo de referencia pues fue el que propició la aceptación por modelar el tratamiento de aguas residuales primero por la comunidad científica y de investigación y después por su uso en la práctica. Su aceptación se dio a la par de la llegada de computadoras de mejor desempeño. El modelo ASM1 es considerado actualmente el estado del arte para la modelación de sistemas de lodos activados. se ha convertido a su vez en referencia para proyectos científicos y prácticos y su uso se ha implementado en la mayoría de los paquetes de software disponibles para el modelado y simulación de las PTAR.

El ASM1 es un modelo estructurado basado en la cinética de monod que predice los procesos de las reacciones biológicas (Van Loosdrecht et al., 2015). Además. es un modelo que describe un sistema de lodos activados con oxidación de carbono. nitrificación y desnitrificación. Una fracción de sustrato rápidamente biodegradable se utiliza para el

crecimiento de la biomasa y el resto es oxidado como fuente de energía. aumentando la demanda de oxígeno asociado. Este modelo cuenta con ocho procesos de transformación biológica. los cuales interactúan con 13 componentes que están contenidos en el agua residual. El sistema contempla también dos clases de componentes en cuanto a sus características físicas: material particulado. que se denota con el símbolo X. y material soluble. denotado con el símbolo S. de los 13 componentes. siete son solubles y cuatro particulado. Además. este modelo distingue entre dos tipos de biomasa: la biomasa heterótrofa y los organismos nitrificantes quimio autótrofos. a los que se llama biomasa autótrofa (Montiel. 2007).

Los procesos de transformación que considera el modelo ASM1 son los siguientes:

1. Crecimiento de heterótrofos (aeróbico/anóxico)

$$\mu_H = \hat{\mu}_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} + \eta_h \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) X_{BH}$$

$\hat{\mu}_H$: tasa maxima de crecimiento.

η_h : Factor de crecimiento anóxico.

2. Crecimiento de autótrofos (nitrificantes)

$$\mu_A = \hat{\mu}_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_O}{K_{O,A} + S_O} \right) X_{BA}$$

3. Decaimiento endógeno (heterótrofos y autótrofos)

$$b_H X_{BH} \text{ y } b_A X_{BA}$$

4. Hidrolisis de partículas lentamente biodegradables (Xs)

$$\rho_h = k_h \left(\frac{X_S/X_{BH}}{K_X + (X_S/X_{BH})} \right) \left(\frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} + \eta_h \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) X_{BH}$$

5. Consumo de sustrato y oxigeno

DBO:

$$\frac{dS_S}{dt} = -\frac{1}{Y_H} \mu_H + (1 - f_P) b_H X_{BH} + \rho_h$$

Oxígeno:

$$\frac{dS_o}{dt} = -\left(\frac{1 - Y_H}{Y_H}\right)\mu_H - \left(\frac{4.57 - Y_A}{Y_A}\right)\mu_A$$

Básicamente los procesos considerados en el modelo ASM1 son cuatro: crecimiento de la biomasa, decaimiento de la biomasa, amonificación del nitrógeno orgánico e hidrólisis de las partículas orgánicas. Para poder facilitar el modelado solo se toma en consideración el sustrato rápidamente biodegradable para el crecimiento de la biomasa heterotrófica. En el caso del sustrato lentamente biodegradable se considera como si fuera eliminado por suspensión de manera instantánea al quedar atrapado en el floculo donde es convertido en rápidamente biodegradable.

CAPÍTULO III.

INFORMACIÓN RECOPIADA.

3.1. Planta de tratamiento de aguas residuales “San Blas”.

- Sistema de derivación desde un Canal principal (Compuerta o Válvula regulable de caudal).
- Sistema de medición (Canaleta o Canal Parshall) y medidor automático.
- Tratamiento Primario con cribas y desarenadores (sistema automatizado).
- Tratamiento Secundario

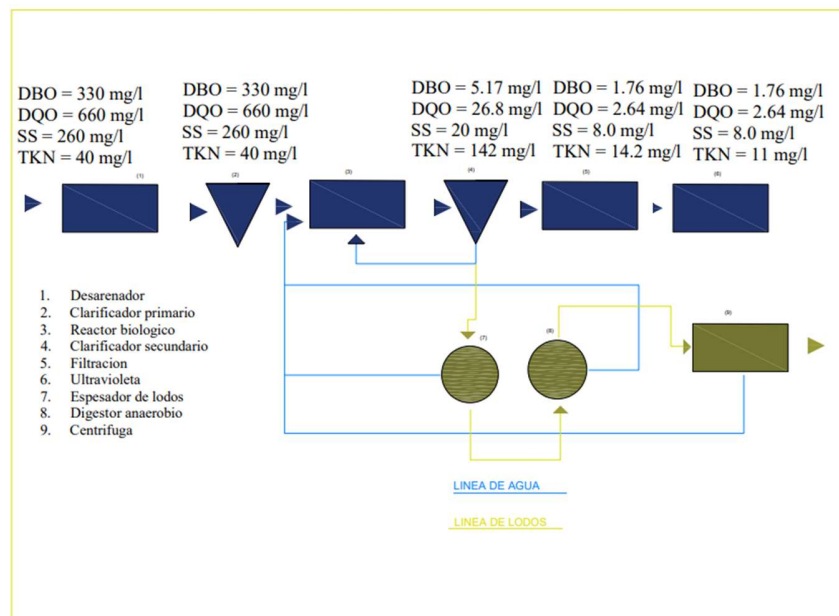
Línea de Agua:

- Clarificador Primario
- Reactor Biológico (Lodo Activado mezcla completa)
- Clarificador Secundario
- Filtración

Línea de lodos.

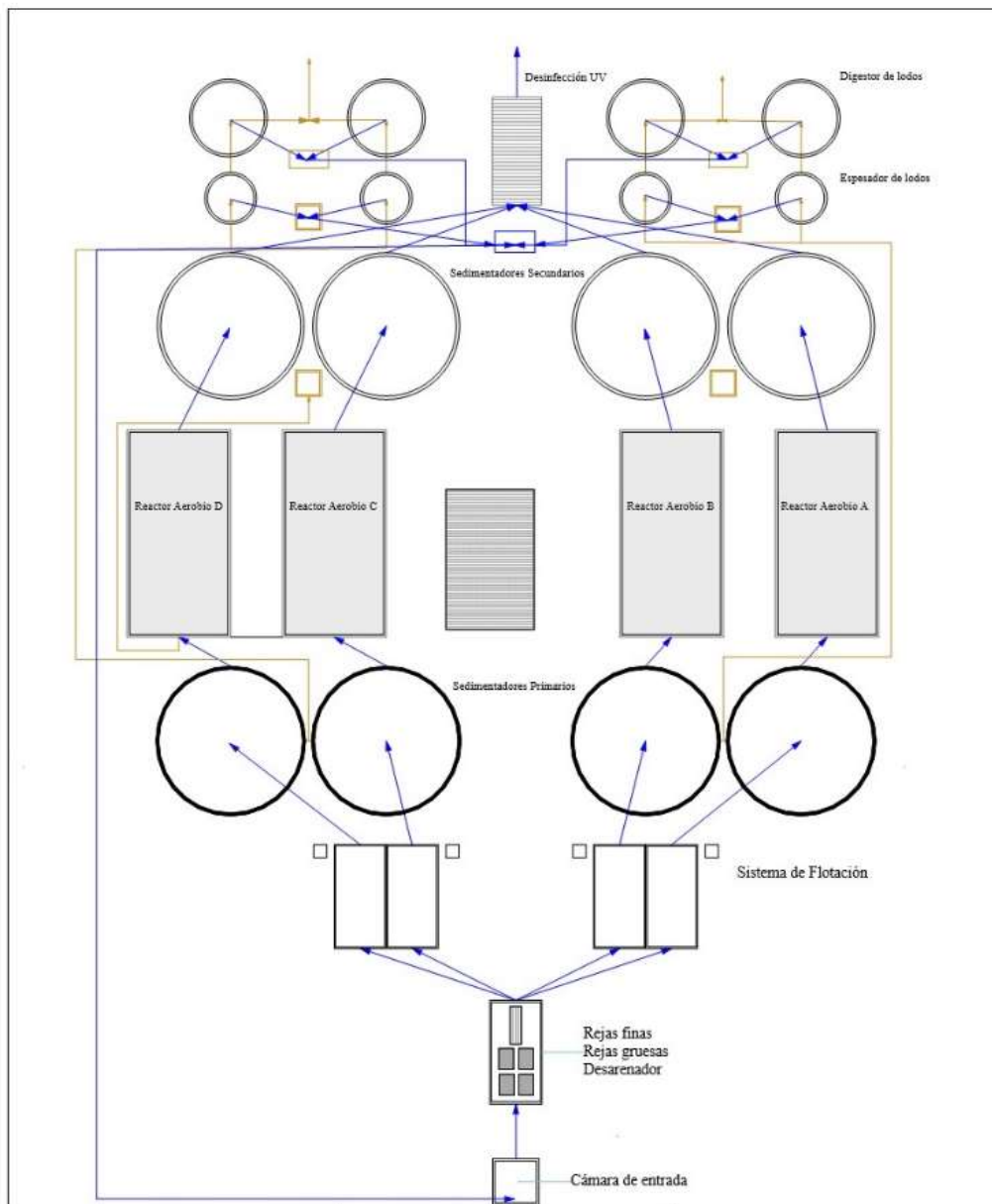
- Sistema de Biodigestores y Secado de Lodos (Centrífuga).
- Tratamiento Terciario
- Desinfección (UV. Radiación Solar).

Figura 13. Esquema de la PTAR San Blas.



Fuente: Adaptado de DBC construcción PTAR san Blas.

Figura 14. Posible esquema de la PTAR con el sistema de flotación



Fuente: Elaboración propia.

3.1.1. Tratamiento Preliminar.

El primer paso en el tratamiento del agua residual consiste en la separación de los sólidos gruesos. El procedimiento más habitual se basa en hacer pasar el agua residual bruta a través de rejas de barras o de tamices, en las que se eliminan del agua residual entrante los sólidos de mayor tamaño. Los componentes del tratamiento preliminar se definen en función al tipo

y/o característica de los residuos sólidos que llega hasta la PTAR. en el caudal residual del afluente.

Los criterios de diseño para realizar el dimensionamiento conceptual de las rejillas y el desarenado están de acuerdo a los establecidos en el libro de Metcalf & Eddy. a continuación. se presenta los criterios de diseño y los resultados del diseño conceptual del tratamiento preliminar.

Rejillas:

Dispositivos de detección que se utilizan para quitar objetos grandes que de lo contrario pueden dañar bombas y otros equipos. obstruir tuberías e interferir con el normal funcionamiento de las instalaciones de tratamiento.

Se constituyen en pantallas utilizadas en instalaciones de tratamiento de aguas residuales o en las estaciones de bombeo se clasifican generalmente como finas pantallas o pantallas de barra metálica.

Pantallas Finas. son aquellos con aberturas de menos de $\frac{1}{4}$ de pulgada. Estas pantallas se han utilizado como un sustituto para los tanques de sedimentación para remover sólidos suspendidos antes de tratamiento biológico. Sin embargo. pocas plantas utilizan hoy este concepto de eliminación de sólidos.

Pantallas de barra. se utilizan principalmente para proteger bombas. válvulas. tuberías y otros dispositivos que pueden ser dañados u obstruidos por objetos grandes. Consisten en barras verticales o inclinadas espaciadas a intervalos iguales (generalmente $\frac{3}{4}$ a 3 pulg.) colocadas en el canal del afluente. Estos dispositivos pueden ser limpiados manualmente o mecánicamente. Cuando presentan aberturas superiores a $2\frac{1}{2}$ pulgadas son como rejillas.

Figura 15. Rejas automáticas de la PTAR San Blas



Fuente: Elaboración propia.

Sistema de Mili tamices:

El flujo del líquido debe ir del interior al exterior del tambor. ingresando por su frente abierto. de forma tal que la totalidad del mismo atraviese el plato perforado que compone la estructura filtrante.

El sistema de limpieza se accionará cuando los sensores de nivel indiquen una determinada diferencia de los niveles aguas arriba y aguas abajo del tamiz. con el objeto de reducir el consumo de energía eléctrica y el desgaste de sus partes mecánicas (menor mantenimiento); además de una programación temporal (timer). De esta manera. mientras el equipo no esté en movimiento. se formará un manto filtrante sobre la malla que retendrá un importante porcentaje de partículas menores a la abertura de tamiz especificada.

El lavado de la malla del tamiz se realizará por inyección de agua a presión (aprox. 7 bares) en la parte superior del tambor y se complementará con la acción posterior de un cepillo de

material sintético. El sistema de lavado se accionará sobre la malla solo durante los períodos de rotación del tambor para evitar el consumo excesivo de agua.

Los residuos deben ser tomados por un tornillo de paso variable. para transportarse y compactarse hasta lograr una sequedad mayor al 20%.

Desarenador:

Los desarenadores se proyectan para separar arenas. término que engloba a las arenas propiamente dichas y a la grava, cenizas, y cualquier otro material pesado cuya velocidad de sedimentación o peso específico sea considerablemente superior al de los sólidos putrescibles presentes en el agua residual.

Los desarenadores se instalan para proteger los elementos mecánicos móviles de la abrasión y el excesivo desgaste y la reducción de depósitos pesados en el interior de tuberías, canales, y conducciones y la reducción de la frecuencia de limpieza de los digestores provocada por la excesiva acumulación de arena.

Figura 16. Tornillo de Arquímedes de la PTAR San Blas.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Tratamiento primario y secundario.

Lodos activados de mezcla completa: Los sistemas de lodos activados convencionales típicamente están compuestos por tanques de aireación y Sedimentadores secundarios. Los tanques de aireación proveen condiciones favorables para hidrolizar y asimilar los contaminantes presentes en el agua residual. Los Sedimentadores secundarios sirven para retener la biomasa producida en los tanques de aireación y recircularla para su reúso. El uso de múltiples trenes facilita el mantenimiento y. provee flexibilidad y redundancia en el sistema. El uso de múltiples reactores biológicos tendría varios canales para generar un flujo a pistón.

La aireación, suministrada por sopladores, se realiza con el fin de mantener en los reactores biológicos un nivel de oxígeno disuelto (OD) adecuado para mantener las actividades biológicas.

Se utilizan difusores para transferir el oxígeno del aire al agua residual, conocida como licor mezclado, que contiene una alta población de microorganismos. Los difusores se clasifican según el tipo de burbuja fina que producen. Los cuatro tipos de difusores son: de burbuja gruesa, burbuja media, burbuja fina y burbuja ultra fina y se presentan en los siguientes materiales: acero inoxidable, cerámica y materiales sintéticos como PVC, polietileno. Para efectos de discusión y comparación, se asumen difusores de burbuja fina para todos los sistemas de aireación debido a las altas eficiencias que tienen en la transferencia de oxígeno.

Figura 17. Rector de lodos activados de la PTAR San Blas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Difusor de burbuja fina del reactor de lodos activados.



Fuente: Elaboración propia.

Sedimentador Primario y Secundario:

Luego de la oxidación de la materia orgánica y de la generación de la biomasa en el estanque de aireación; el licor mezclado ingresa al Sedimentador secundario para su separación. La composición de este licor, principalmente, es de células bacterianas vivas y muertas, protozoos y otros organismos mayores, partículas orgánicas y precipitados de sales, que permanecen aglomerados en una matriz limosa proveniente de las células formando flocs o flóculos, capaces de precipitar en condiciones relativamente quietas.

Los filtros se usan para remover sólidos suspendidos de los suministros de agua. Estos sólidos pueden consistir en suciedad, cieno u otras partículas que puedan interferir con el uso intencionado del agua o una tecnología de tratamiento corriente abajo. Los filtros prediseñados conceptualmente son filtros de lecho, consisten en un tanque que contiene elementos granulares tales como arena, antracita, granate, etc. que captura los sólidos suspendidos y los retiene hasta que son eliminados y retro lavados. Los filtros de lecho son típicamente capaces de remover sólidos suspendidos de hasta 10 a 20 micras de tamaño.

Figura 19. Sedimentador secundario de la PTAR San Blas



Fuente: Elaboración propia.

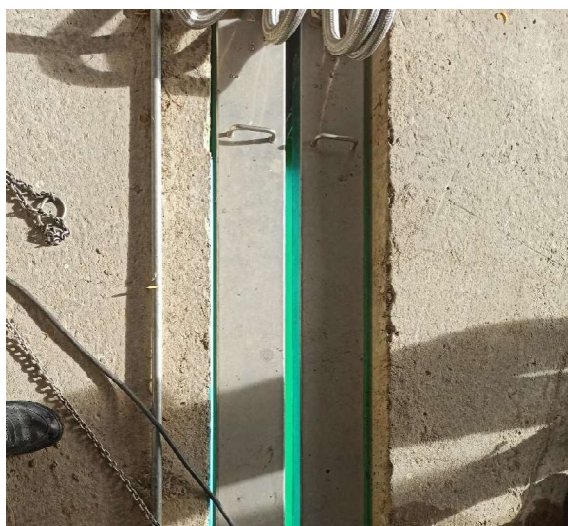
3.1.3. Tratamiento terciario.

Desinfección Mediante Rayos UV:

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. No todos los organismos se destruyen durante el proceso, punto en el que radica la principal diferencia entre la desinfección y la esterilización, proceso que conduce a la destrucción de la totalidad de los organismos. En el campo de las aguas residuales, las tres categorías de Organismos entéricos de origen humano de mayores consecuencias en la producción de enfermedades son las bacterias, los virus y los quistes amebianos. Las enfermedades bacterianas típicas transmitidas por el agua son: el Tifus, el cólera, el paratífus y la disentería bacilar, mientras que las enfermedades causadas por los virus incluyen, entre otras, la poliomielitis y la hepatitis infecciosa.

La desinfección de aguas de abastecimiento basada en la radiación emitida por fuentes de rayos ultravioletas (UV), se ha empleado en contadas ocasiones desde principios de Siglo. Aunque su primer uso se centraba en la desinfección de aguas de suministro de alta calidad, recientemente se ha experimentado un renovado interés en la aplicación de esta técnica de cara a la desinfección de aguas residuales. Se ha podido comprobar que una correcta dosificación de rayos ultravioletas es un eficaz bactericida y viricida, además de contribuir la información de compuestos tóxicos.

Figura 20. Sistema de desinfección de rayos UV en la PTAR San Blas.



Fuente: Elaboración propia.

Fuentes de Radiación Ultravioleta.

Actualmente el principal método de generación de radiación ultravioleta para la desinfección de aguas residuales es la lámpara de arco de mercurio a baja presión. La lámpara de mercurio presenta la ventaja de que el 85 por 100 de la luz emitida es monocromática, con una longitud de onda 253.7 nm, valor que está en el intervalo óptimo para obtener efectos germicidas (250–270 nm). La longitud típica de las lámparas oscila entre 0.75 y 1.5 metros, con un diámetro entre 15 y 20 mm.

Figura 21. Sistema de desinfección de rayos UV en la PTAR San Blas.



Fuente: Elaboración propia.

Efectividad de la Radiación Ultravioleta.

La radiación ultravioleta constituye, más bien, un agente desinfectante físico no químico. La radiación con longitud de onda de alrededor de 254 nm penetra la pared celular de los organismos y es absorbida por los materiales celulares, incluidos el ADN y el ARN, lo cual puede impedir la reproducción o producir directamente la muerte de la célula. Debido a que sólo son efectivos los rayos ultravioletas que alcanzan las bacterias, es conveniente que el agua esté libre de turbiedad que podría absorber la radiación ultravioleta y actuar como escudo de las bacterias. Se ha comprobado que la radiación ultravioleta no constituye un desinfectante efectivo para aguas residuales que presentan altas concentraciones de sólidos. A efectos prácticos la inactivación bacteriana producida por la radiación ultravioleta se puede describir empleando una formulación cinética de primer orden.

Optimización del rendimiento de la Radiación Ultravioleta.

Debido a que la distancia a la cual la radiación ultravioleta es efectiva es muy pequeña la máxima efectividad en la desinfección se obtiene empleando el principio de la lámina fina. Para limitar la profundidad del líquido que deben penetrar los rayos ultravioletas, la mayoría de las unidades de tratamiento con rayos UV se construyen con una matriz de lámparas a través de las cuales se hace circular el agua residual. Normalmente las lámparas se instalan en el canal del efluente, lo cual elimina la necesidad de disponer de un tanque o de un canal de contacto. Es conveniente que el conjunto este contenido en una estructura cerrada que proteja los equipos eléctricos que se emplean para dar corriente a las lámparas ultravioletas.

Impacto Ambiental del uso de Radiación Ultravioleta.

Puesto que no se trata de un agente químico, la radiación ultravioleta no produce residuos tóxicos. No obstante, puede provocar la alteración de determinados compuestos químicos. Existe el convencimiento general de que tales compuestos se degradan a formas más inocuas, pero es preciso andar más en el conocimiento de este tema. Por lo tanto, actualmente, es preciso considerar que la desinfección mediante radiación ultravioleta no tiene efectos positivos ni negativos sobre el medio ambiente.

3.1.4. Línea de lodos.

Espesador de lodos:

El proceso de espesamiento por gravedad generalmente es utilizado para espesar el lodo primario, debido a que tiende a ser más denso y, por lo tanto, se compacta con mayor facilidad.

Los espesadores por gravedad son tanques circulares equipados con colectores de lodo y funcionan como un tanque de sedimentación. Para espesar lodo primario, se construyen hasta de 25 metros de diámetro. El espesamiento conjunto entre el lodo primario y los lodos activados de desecho se ha utilizado en varios sistemas de tratamiento.

Digestor anaerobio:

La digestión anaeróbica es la degradación biológica de sustancias orgánicas complejas, en ausencia de oxígeno libre. Durante las reacciones se libera energía y gran parte de la materia orgánica se convierte en metano, dióxido de carbono y agua. Teniendo en cuenta que la disponibilidad de carbono y energía es limitada para seguir manteniendo actividad biológica, los sólidos restantes se vuelven estables. La digestión anaeróbica se realiza normalmente en contenedores cerrados a 35 °C (mesofílicos) o 55 °C (termofílicos).

Los componentes principales de un sistema de digestión anaerobia incluyen los tanques de reacción, sistema de alimentación, sistema de mezcla, sistema de calefacción y sistema de manejo de gases. El lodo se digiere durante un tiempo entre 15 y 20 días. El biogás producido puede ser recolectado y usado. Los sólidos volátiles son reducidos en el proceso, lo que finaliza con un material estabilizado que se puede reusar. Se propone un digestor anaerobio en dos etapas como indica la figura y el diseño conceptual.

Centrifuga:

El espesamiento en centrífugas es similar al proceso de espesamiento por gravedad salvo que la fuerza aplicada es de 500 a 2000 veces más alta que la fuerza de gravedad. Los componentes principales de la centrifuga son un cilindro y un tornillo. El cilindro se monta horizontalmente y gira a una alta velocidad para crear la fuerza centrífuga. El tornillo se monta dentro del cilindro y transporta los sólidos de un extremo del cilindro al otro. El cilindro consta de una Sección tubular y una Sección cónica. El tornillo consiste en un tornillo sin fin de acero inoxidable acoplado a un eje hueco. Al entrar en operación, los sólidos son forzados a la pared del cilindro por la fuerza centrífuga creada. El tornillo gira a una velocidad diferente que el cilindro, lo que permite que el tornillo transporte los sólidos al extremo cónico del cilindro. La compresión de los sólidos se produce según se transportan a lo largo del cilindro y se descargan por compuerta. Las unidades centrífugas tienen capacidad para espesar lodos primarios, secundarios y en conjunto.

3.2. Información recopilada de la PTAR San Blas.

Se presenta en este capítulo la información que se recopiló de la planta de tratamiento de San Blas, información que corresponde al mes de junio de 2022 de funcionamiento de la PTAR.

Tabla 19. Caudal de entrada del mes de mayo 2024.

Fecha de muestreo	Hora	Caudal (l/s)
2024-05-01 10:00:00.000	10:00	37.59
2024-05-01 15:00:00.000	15:00	32.55
2024-05-02 10:00:00.000	10:00	33.80
2024-05-02 15:00:00.000	15:00	34.13
2024-05-03 10:00:00.000	10:00	31.57
2024-05-03 15:00:00.000	15:00	34.62
2024-05-04 10:00:00.000	10:00	36.67
2024-05-04 15:00:00.000	15:00	35.95
2024-05-05 10:00:00.000	10:00	32.14
2024-05-05 15:00:00.000	15:00	38.17
2024-05-06 10:00:00.000	10:00	34.08
2024-05-06 15:00:00.000	15:00	33.36
2024-05-07 10:00:00.000	10:00	31.60
2024-05-07 15:00:00.000	15:00	33.21
2024-05-08 10:00:00.000	10:00	42.13
2024-05-08 15:00:00.000	15:00	39.88
2024-05-09 10:00:00.000	10:00	24.39
2024-05-09 15:00:00.000	15:00	30.25
2024-05-10 10:00:00.000	10:00	32.27
2024-05-10 15:00:00.000	15:00	33.57
2024-05-11 10:00:00.000	10:00	35.41
2024-05-11 15:00:00.000	15:00	33.46
2024-05-12 10:00:00.000	10:00	34.21
2024-05-12 15:00:00.000	15:00	35.29
2024-05-13 10:00:00.000	10:00	31.40
2024-05-14 10:00:00.000	10:00	33.50
2024-05-14 15:00:00.000	15:00	36.81
2024-05-15 10:00:00.000	10:00	34.33
2024-05-15 15:00:00.000	15:00	35.23
2024-05-16 10:00:00.000	10:00	31.72
2024-05-16 15:00:00.000	15:00	31.51
2024-05-17 10:00:00.000	10:00	30.05

Fuente: Cosaalt

Tabla 20. Análisis estadístico de los caudales del afluente.

Análisis estadístico	Afluente (L/s)
Caudal de diseño	210.00
Máximo (actual 2023)	44.10
Mínimo	13.78
Promedio	27.47
Desviación. Estándar	7.06

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Resultados de laboratorio de los principales parámetros contaminantes del afluente.

Fecha de muestreo	Descripción	T. Amb (°C)	T. Agua (°C)	SDT (mg/L)	Turbiedad	OD (mg/L)	SST (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	TKN (mg/L)
01/02/2023	C. Entrada	21.000	22.000	349.000	76.100	0.000	155.000	208.100	332.000	
01/02/2023	C. Entrada	21.000	21.300	294.000	99.800	0.100	120.000			
02/02/2023	C. Entrada	22.000	21.300	379.000	84.100	0.040	179.000		575.000	
02/02/2023	C. Entrada	21.000	21.200	275.000	81.300	0.000	140.000			
03/02/2023	C. Entrada	18.000	22.200	303.000	63.300	0.100	160.000	207.800	319.000	
05/02/2023	C. Entrada	15.000	22.900	310.000	78.500	0.000	117.000			
06/02/2023	C. Entrada	20.000	22.700	400.000	108.000	0.000	223.000		556.000	
06/02/2023	C. Entrada	18.000	21.200	164.000	49.900	0.400	83.000			
07/02/2023	C. Entrada	18.000	22.000	410.000	70.900	0.000	148.000		1491.000	
07/02/2023	C. Entrada	18.000	22.000	392.000	0.000	0.100	207.000			
07/02/2023	C. Entrada	21.000	23.000	338.000	0.000	0.000	414.000			
08/02/2023	C. Entrada	21.000	22.000	382.000	140.000	0.100	252.000	202.000	609.000	
08/02/2023	C. Entrada	20.000	22.400	303.000	128.000	0.000	256.000			
09/02/2023	C. Entrada	22.000	23.000	379.000	137.000	0.000	242.000		484.000	23.800
09/02/2023	C. Entrada	20.000	21.000	182.000	27.000	0.700	42.000			
10/02/2023	C. Entrada	22.000	23.000	318.000	68.800	0.000	140.000	148.300	284.000	
12/02/2023	C. Entrada	24.000	21.700	289.000	71.200	0.000	119.000			
13/02/2023	C. Entrada	23.000	22.700	400.000	81.100	0.000	173.000		477.000	
13/02/2023	C. Entrada	20.000	21.000	142.000	70.200	0.600	106.000			
14/02/2023	C. Entrada	20.000	22.000	290.000	73.900	2.000	131.000		281.000	
14/02/2023	C. Entrada	22.000	23.000	276.000	3.600	3.100	9.000			
15/02/2023	C. Entrada	19.000	23.200	322.000	44.500	0.100	97.000	112.100	273.000	
15/02/2023	C. Entrada	19.000	22.200	289.000	49.200	0.100	89.000			
16/02/2023	C. Entrada	23.000	22.200	385.000	71.900	0.000	142.000		392.000	
16/02/2023	C. Entrada	19.000	19.800	202.000	64.300	0.390	86.000			
17/02/2023	C. Entrada	17.000	22.400	270.000	57.400	0.580	122.000	97.100	204.000	
21/02/2023	C. Entrada	18.000	21.000	310.000	61.900	0.030	104.000			
22/02/2023	C. Entrada	21.000	22.300	387.000	54.800	0.050	127.000	179.600	367.000	
22/02/2023	C. Entrada	18.000	20.700	143.000	86.900	1.800	210.000			

23/02/2023	C. Entrada	20.000	21.900	368.000	57.500	0.060	127.000		354.000	19.200
23/02/2023	C. Entrada	19.000	20.900	294.000	40.700	0.100	60.000			
24/02/2023	C. Entrada	20.000	21.900	396.000	56.900	0.060	138.000	430.200	989.000	
26/02/2023	C. Entrada	18.000	20.300	308.000	65.200	0.020	109.000			
27/02/2023	C. Entrada	20.000	21.900	337.000	71.500	0.050	150.000		383.000	
27/02/2023	C. Entrada	20.000	22.100	329.000	42.400	0.030	62.000			
28/02/2023	C. Entrada	21.000	22.000	349.000	94.600	0.020	168.000		393.000	
28/02/2023	C. Entrada	17.000	23.000	262.000	82.900	0.010	106.000			

Fuente: Cosaalt

Tabla 22. Resultados de laboratorio de los principales parámetros contaminantes del afluente.

Fecha de ensayo	Descripción	T. Ambiente (°C)	T. agua (°C)	SST (mg/L)	DQO (mg/L)	DBOs (mg/L)
01-jun-22	C. Entrada	7.00	19.00	276.00	647.00	308.00
02-jun-22	C. Entrada	9.00	15.00	301.00		
02-jun-22	C. Entrada	5.00	18.00	304.00	375.00	
03-jun-22	C. Entrada	7.00	15.00	248.00		
03-jun-22	C. Entrada	9.00	18.00	292.00	420.00	211.63
03-jun-22	C. Entrada	13.00	13.00	240.00		
04-jun-22	C. Entrada	9.00	17.00	49.00		
06-jun-22	C. Entrada	16.00	18.00	564.00		
06-jun-22	C. Entrada	14.00	19.00	288.00	433.00	
07-jun-22	C. Entrada	12.00	19.00	447.00	831.00	
08-jun-22	C. Entrada	13.00	15.00	223.00		
08-jun-22	C. Entrada	15.00	21.00	263.00	422.00	130.74
09-jun-22	C. Entrada	5.00	12.40	211.00		
09-jun-22	C. Entrada	12.00	17.50	255.00	602.00	
10-jun-22	C. Entrada	8.00	13.00	239.00		
10-jun-22	C. Entrada	12.00	18.20	328.00	986.00	362.90
13-jun-22	C. Entrada	11.00	12.00	233.00		
13-jun-22	C. Entrada	15.00	18.00	256.00	518.00	
14-jun-22	C. Entrada	13.00	13.00	249.00		
14-jun-22	C. Entrada	12.00	18.00	293.00	404.00	
15-jun-22	C. Entrada	13.00	13.00	332.00		
15-jun-22	C. Entrada	14.00	18.00	325.00	504.00	121.40
17-jun-22	C. Entrada	12.00	12.00	241.00		
17-jun-22	C. Entrada	13.00	18.00	302.00	431.00	204.77
18-jun-22	C. Entrada	9.00	13.00	227.00		
18-jun-22	C. Entrada	5.00	15.00	58.00		
20-jun-22	C. Entrada	14.00	14.00	265.00		
20-jun-22	C. Entrada	15.00	17.00	298.00	500.00	

22-jun-22	C. Entrada	18.00	18.00	368.00		
22-jun-22	C. Entrada	15.00	19.00	335.00	490.48	286.00
23-jun-22	C. Entrada	9.00	12.00	225.00		
23-jun-22	C. Entrada	12.00	19.00	308.00	844.00	
24-jun-22	C. Entrada	10.00	18.00	217.00		
24-jun-22	C. Entrada	16.00	18.30	286.00	668.00	427.40
27-jun-22	C. Entrada	13.00	16.00	280.00		
27-jun-22	C. Entrada	9.00	18.00	743.00	641.00	
28-jun-22	C. Entrada	14.00	15.00	220.00		
28-jun-22	C. Entrada	12.00	21.00	345.00	412.00	
29-jun-22	C. Entrada	10.00	13.00	199.00		
29-jun-22	C. Entrada	14.00	16.80	477.00	450.00	142.50
30-jun-22	C. Entrada	14.00	15.00	272.00		
30-jun-22	C. Entrada	10.00	17.00	700.00		2110.00
		11.62	16.31	299.57	556.76	243.93

Fuente: Cosaalt.

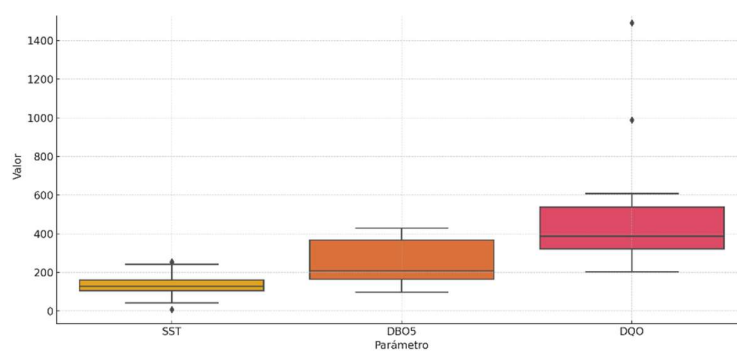
Tabla 23. Datos del afluente para el diseño del sistema de flotación.

Elevación sobre el nivel del mar (msnm)	T. Amb. (°C)	T. Agua (°C)	Caudal (L/S)	SST (mg/L)	DBO5 (mg/L)	DQO (mg/L)	TKN (mg/L)
1827	11.62	16.31	210	414.000	198.150	486.833	21.500

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Análisis de la información recopilada.

Figura 22. Distribución de parámetros en muestras de febrero 2023



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Análisis estadístico del afluente del mes de febrero 2023.

Parámetro	Muestras válidas	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
SST (mg/L)	36	136.08	9.00	256.00	56.79
DBO5 (mg/L)	11	246.84	97.10	430.20	120.35
DQO (mg/L)	18	486.83	204.00	1491.00	307.75

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación Técnica

SST (Sólidos Suspendidos Totales):

- El valor promedio (136 mg/L) está dentro de un rango habitual para aguas residuales crudas, pero los valores extremos (hasta 256 mg/L) pueden indicar episodios de carga alta (posiblemente por arrastre de sólidos o descargas puntuales).
- El valor mínimo de 9 mg/L sugiere un dato atípico o un error en la toma de muestra.

DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días):

- La media de ~247 mg/L y la desviación estándar elevada (120 mg/L) muestran alta variabilidad en la carga orgánica biodegradable. Esto puede deberse a distintos patrones de uso del agua o descargas irregulares.
- Algunos valores superan ampliamente el límite típico de entrada para un tratamiento secundario (idealmente entre 200–300 mg/L), lo cual podría exigir ajustes operativos.

DQO (Demanda Química de Oxígeno):

- El promedio es muy alto (487 mg/L), y el valor máximo de 1491 mg/L representa una carga orgánica severa.
- Esto sugiere que el efluente podría estar recibiendo sustancias no biodegradables o provenientes de actividades industriales/comerciales.

Los valores de SST, DBO5 y DQO presentan una alta variabilidad durante el mes de febrero, con promedios de 136, 247 y 487 mg/L respectivamente. Se identificaron picos importantes, particularmente en la DQO (1491 mg/L), que podrían afectar negativamente la eficiencia del tratamiento biológico. Esto sugiere la necesidad de un control más riguroso de los vertidos de entrada y posibles mejoras en la operación de pre tratamiento. La presencia de valores atípicos también podría indicar errores de muestreo o eventos anómalos que deben investigarse más a fondo.

3.4. Resultados de laboratorio.

Tabla 25. Informe de ensayo de laboratorio N.º 1.

Cliente	Abraham Aníbal Rodríguez			
Solicitante	Abraham Aníbal Rodríguez			
Dirección	San Lorenzo Barrio San Pedro			
Teléfono/Fax	78703070			
Código	AG 052/25			
Descripción de la muestra	Agua Residual			
Proyecto	Evaluación de la variación de grasas y aceites en la PTAR de San Blas			
Código de muestreo	–			
Fecha de muestreo	2025-03-17 – 15:00			
Lote	–			
Procedencia	Cercado-Tarija – Tarija-Bolivia			
Lugar de muestreo	Planta de tratamiento de aguas residuales “San Blas”			
Responsable de muestreo	Abraham Aníbal Rodríguez			
Nº de muestra	0371/FLQ/2025			
Fecha de recepción de la muestra	2025-03-17			
Fecha de análisis de la muestra	De 2025-03-17 al 2025-03-21			
Cantidad recibida	1000 ml			
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultados	Límites Permisibles / Referencia
Aceites y grasas	SM 5520-B (SM Standard Methods)	mg/l	10.5	Sin referencia / Sin referencia

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Informe de ensayo de laboratorio N.º 2.

Cliente	Abraham Anibal Rodríguez			
Solicitante	Abraham Anibal Rodríguez			
Dirección	San Lorenzo Barrio San Pedro			
Teléfono/Fax	78703070			
Código	AG 053/25			
Descripción de la muestra	Agua Residual			
Proyecto	Evaluación de la variación de grasas y aceites en la PTAR de San Blas			
Código de muestreo	–			
Fecha de muestreo	2025-03-18 – 10:00			
Lote	–			
Procedencia	Cercado-Tarija – Tarija-Bolivia			
Lugar de muestreo	Planta de tratamiento de aguas residuales “San Blas”			
Responsable de muestreo	Abraham Anibal Rodríguez			
Nº de muestra	0381 FL 0303			
Fecha de recepción de la muestra	2025-03-18			
Fecha de análisis de la muestra	De 2025-03-18 al 2025-03-24			
Cantidad recibida	1000 ml			
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultados	Límites Permisibles / Referencia

Aceites y grasas	SM 5520-B (SM Standard Methods)	mg/l	11	Sin referencia / Sin referencia
------------------	---------------------------------	------	----	---------------------------------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Informe de ensayo de laboratorio N.º 3.

Cliente	Abraham Anibal Rodríguez			
Solicitante	Abraham Anibal Rodríguez			
Dirección	San Lorenzo Barrio San Pedro			
Teléfono/Fax	78703070			
Código	AG 058/25			
Descripción de la muestra	Agua Residual de la PTAR San Blas cámara de entrada			
Proyecto	Evaluación de la variación de grasas y aceites en la PTAR de San Blas			
Código de muestreo	–			
Fecha y hora de muestreo	2025-03-22 – 10:00			
Lote	–			
Procedencia	Cercado-Tarija – Tarija-Bolivia			
Lugar de muestreo	Planta de tratamiento de aguas residuales “San Blas”			
Responsable de muestreo	Abraham Anibal Rodríguez			
Código de la muestra	0416 FL 0332			
Fecha de recepción de la muestra	2025-03-24			
Fecha de análisis de la muestra	De 2025-03-24 al 2025-03-27			
Cantidad recibida	1.5 L			
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultados	Límites Permisibles / Referencia
Aceites y grasas	SM 5520-B (SM Standard Methods)	mg/l	5	Sin referencia / Sin referencia

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Informe de ensayo de laboratorio N.º 4.

Cliente	Abraham Anibal Rodríguez			
Solicitante	Abraham Anibal Rodríguez			
Dirección	San Lorenzo Barrio San Pedro			
Teléfono/Fax	78703070			
Código	AG 064/25			
Descripción de la muestra	Agua Residual de la PTAR San Blas cámara de entrada			
Proyecto	Evaluación de la variación de grasas y aceites en la PTAR de San Blas			
Código de muestreo	1			
Fecha y hora de muestreo	2025-03-28 – 10:00			
Lote	–			
Procedencia	Cercado-Tarija – Tarija-Bolivia			
Lugar de muestreo	Planta de tratamiento de aguas residuales “San Blas”			
Responsable de muestreo	Abraham Anibal Rodríguez			
Código de la muestra	0440 FL 0352			

Fecha de recepción de la muestra			2025-03-24	
Fecha de análisis de la muestra			De 2025-03-28 al 2025-04-01	
Cantidad recibida			1 L	
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultados	Límites Permisibles / Referencia
Aceites y grasas	SM 5520-B (SM Standard Methods)	mg/l	2.5	Sin referencia / Sin referencia

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Informe de ensayo de laboratorio N.º 5.

Cliente		Abraham Anibal Rodríguez		
Solicitante		Abraham Anibal Rodríguez		
Dirección		San Lorenzo Barrio San Pedro		
Teléfono/Fax		78703070		
Código		AG 064/25		
Descripción de la muestra		Agua Residual de la PTAR San Blas cámara de entrada		
Proyecto		Evaluación de la variación de grasas y aceites en la PTAR de San Blas		
Código de muestreo		1		
Fecha y hora de muestreo		2025-04-01 – 02:30		
Lote		–		
Procedencia		Cercado-Tarija – Tarija-Bolivia		
Lugar de muestreo		Planta de tratamiento de aguas residuales “San Blas”		
Responsable de muestreo		Abraham Anibal Rodríguez		
Código de la muestra		0479 FQ 0382		
Fecha de recepción de la muestra		2025-04-03		
Fecha de análisis de la muestra		De 2025-04-03 al 2025-04-08		
Cantidad recibida		1000 ML		
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultados	Límites Permisibles / Referencia
Aceites y grasas	SM 5520-B (SM Standard Methods)	mg/l	5.5	Sin referencia / Sin referencia

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Informe de ensayo de laboratorio N.º 6.

Cliente		Abraham Anibal Rodríguez		
Solicitante		Abraham Anibal Rodríguez		
Dirección		San Lorenzo Barrio San Pedro		
Teléfono/Fax		78703070		
Código		AG 064/25		
Descripción de la muestra		Agua Residual de la PTAR San Blas cámara de entrada		
Proyecto		Evaluación de la variación de grasas y aceites en la PTAR de San Blas		
Código de muestreo		2		
Fecha y hora de muestreo		2025-04-02 – 03:00 PM		
Lote		–		
Procedencia		Cercado-Tarija – Tarija-Bolivia		
Lugar de muestreo		Planta de tratamiento de aguas residuales “San Blas”		
Responsable de muestreo		Abraham Anibal Rodríguez		
Código de la muestra		0480 FL 0383		
Fecha de recepción de la muestra		2025-04-03		
Fecha de análisis de la muestra		De 2025-04-03 al 2025-04-08		
Cantidad recibida		1 L		
Parámetro	Técnica y/o Método de Ensayo	Unidad	Resultados	Límites Permisibles / Referencia
Aceites y grasas	SM 5520-B (SM Standard Methods)	mg/l	3	Sin referencia / Sin referencia

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Resultados de la campaña de validación.

Fecha de muestreo	Tipo de muestra	Hora de muestra	Parámetro	Técnica de ensayo	Valor	Unidad
17/03/2025	Simple	10:00	Grasas y aceites	SM 5520-B	10.5	Mg/L
18/03/2025	Simple	10:00	Grasas y aceites	SM 5520-B	11	Mg/L
22/03/2025	Compuesta	c/2 horas durante 24horas	Grasas y aceites	SM 5520-B	5	Mg/L
28/03/2025	simple	10:00	Grasas y aceites	SM 5520-B	2.5	Mg/L
01/04/2025	Simple	14:30	Grasas y aceites	SM 5520-B	5.5	Mg/L
02/04/2025	simple	15:00	Grasas y aceites	SM 5520-B	3	Mg/L

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV.

DISEÑO DEL SISTEMA DE FLOTACIÓN Y SIMULACIÓN DE LA PTAR.

4.1. Condiciones de operación y parámetros de diseño.

Tabla 32. Parámetros de diseño iniciales para el diseño del sistema de flotación.

Parámetros de diseño determinados experimentalmente	Unidad	Valor
presión de operación	PSI	50
porcentaje de reciclo	%	0
dosis de coagulante químico	mg/L	0

Fuente: Elaboración propia.

Además de las condiciones óptimas de operación. se deben tomar en cuenta los criterios de diseño con base a la bibliografía de unidades típicas de flotación. que facilitan el cálculo de los parámetros de diseño del sistema. La tabla 34 indica los criterios asumidos.

Tabla 33. Criterios de diseño iniciales para el diseño del sistema de flotación.

Parámetros	Unidad	Valor
Fracción de saturación. tanque de presurización	%	0.5
Tiempo de retención. tanque de flotación	Min	15
Tiempo de retención. cámara de presurización	Min	2
Carga superficial	M3/m2/día	240
Factor de seguridad	-	1.10

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1. Carga superficial.

La razón de carga superficial es una media del volumen del afluente multiplicado por unidad de área superficial y unidad de tiempo. $(\frac{m^3}{m^2 * h})$. Cuando la carga hidráulica. es superior a 15 $\frac{m^3}{m^2 * h}$ se pueden originar turbulencias que afectan a la capa de lodos flotantes y disminuyen la eficiencia del sistema de flotación. (Lehman. 2000).

La fracción de saturación asumida de 0.5. generalmente se adopta para el diseño de unidades típicas de flotación. Por igual el tiempo de retención asumido de 15 minutos en el tanque de

flotación. representa el tiempo requerido para lograr la separación óptima de los contaminantes y permitir obtener un alto grado de clarificación del efluente. Caso similar sucede con el tiempo de retención en el tanque de presurización de 2 minutos. igual que el tiempo que debe permanecer el volumen de agua dentro del tanque para alcanzar la concentración de aire disuelto requerido. Otro factor asumido es la carga superficial de $10 \frac{m^3}{m^2 \cdot h}$ que permite el cálculo del área del tanque de flotación. Y, por último. un factor de seguridad de 1.10. que indica seguridad ante el fallo (Crites y Tchobanoglous. 2002).

4.2. Cálculo de parámetros de diseño del sistema de flotación.

4.2.1. Solubilidad del aire.

Temperatura: $T = 11.62 \text{ } ^\circ\text{C}$

Presión de operación del tanque: $PT = 50 \text{ psi} = 2585.75 \text{ mmHg}$

Presión de vapor de agua: $PV = 10.415 \text{ mmHg}$

PL = Presión local atmosférica

$$CT = C * \frac{PT - PV}{760 - PV}$$

$$CT = 22.087 \frac{\frac{mL}{aire} * 2585.75 - 10.415}{760 - 10.415}$$

$$CT = 75.884 \frac{mL}{L \text{ agua}}$$

CT = Solubilidad de saturación del aire a la presión de operación del tanque (mL de aire / L de agua)

CL = Solubilidad de saturación del aire a la presión atmosférica mL aire / L)

C = solubilidad de saturación del aire a una atmosfera de presión (mL de aire / L de agua)

Solubilidad de saturación del aire a la presión local atmosférica de Tarija igual a 11.78 psi (609.15 mmHg). CL

$$CL = \frac{C*PL-PV}{760-PV}$$

$$CL = 15.7 \frac{\frac{mL \text{ aire}}{L \text{ agua}} * 609.15 - 10.415}{760 - 10.415}$$

$$CL = 17.64 \frac{mL \text{ aire}}{L \text{ agua}}$$

4.2.2. Cantidad de aire liberado.

La cantidad de aire liberado en el tanque de flotación se calculó a partir de la diferencia de solubilidades.

$$CT - CL = \frac{C*f*PT-PV-PL-P}{760-}$$

$$CT - CL = 22.087 \frac{\frac{mL \text{ aire}}{L \text{ agua}} * 0.5 * (2585.75 - 10.415) - (609.15 - 19.916)}{760 - 10.415}$$

$$CT - CL = 20.299 \frac{mL \text{ aire}}{L \text{ agua}}$$

4.2.3. Solubilidad de saturación del aire en agua a 1atm.

Temperatura °C	solubilidad. C ml de aire/L de agua
0	29.2
5	25.7
10	22.8
11.62	22.08
15	20.60
18	19.46
20	18.7
25	17.1
30	15.7

Fuente: Romero. 2000. p. 351.

4.2.4. Densidad del aire a las condiciones del problema

$$d = \left(\frac{1.293}{(1 + 0.0367 * T)} \right) * \frac{PV}{7.6} = \left(\frac{1.293}{(1 + 0.0367 * 11.67)} \right) * \frac{10.415}{7.6} = 1.24 \frac{mg}{L}$$

4.2.5. Relación aire/sólidos.

Para determinar el valor de A/S bajo las condiciones descritas en la tabla 35 se calculó a partir de la ecuación. además se requieren condiciones determinadas a una temperatura de 11.62 °C.

Tabla 34. Condiciones requeridas para el cálculo del parámetro A/S.

Parámetro	Unidad	Valor
C	Solubilidad de saturación del aire a una atmosfera (mL/L)	22.09
D	Densidad de aire a las condiciones del problema (mg/mL)	1.24
F	Fracción de aire disuelto a la presión absoluta de operación	0.5
PT	Presión absoluta de operación (mmHg)	2585.75
PV	Presión de vapor del agua a la temperatura de operación (mmHg)	10.42
PL	Presión local atmosférica (mmHg)	609.15
So	Concentración de sólidos suspendidos del afluente (mg/mL)	414.00
Q	Caudal de ingreso al sistema de flotación (L/s)	52.50

Fuente: Elaboración propia.

$$\frac{A}{S} = \frac{C * d * f * PT - PV - PL - PV}{So * 760 - PV}$$

$$\frac{A}{S} = \frac{22.09 * 1.24 * (0.5 * (2585.75 - 10.42) - (609.15 - 10.42))}{414 * 760 - 10.42}$$

$$\frac{A}{S} = 0.060787596$$

Donde:

A/S = relación aire sólidos adimensional

d = densidad de aire a las condiciones del problema (mg/mL)

f = fracción de aire disuelto a la presión absoluta de operación. generalmente 0.5

So = concentración de sólidos suspendidos del afluente (mg/mL)

4.2.6. Caudal de diseño

$$Qd = \frac{Q_{max}}{4}$$

$$Qd = \frac{210 \text{ l/s}}{4} = 52.5 \text{ l/s}$$

4.3. Dimensionamiento del tanque de flotación del sistema de flotación.

4.3.1. Área superficial.

$$As = \frac{(Q)}{Cs}$$

$$As = \frac{\left(4536 \frac{m^3}{dia}\right)}{240 \frac{m^3}{m^2 * dia}}$$

$$As = 18.9 \text{ m}^2$$

Dónde:

As: área superficial del tanque de flotación (m^2)

Q: caudal de ingreso al sistema de flotación ($\frac{m^3}{dia}$)

QR: caudal recirculado presurizado ($\frac{m^3}{dia}$)

Cs: carga superficial ($\frac{m^3}{m^2 * dia}$)

4.3.2. Volumen del tanque de flotación.

El volumen total del tanque de flotación consta del volumen del prisma y del fondo inclinado.

Para el volumen del prisma rectangular se consideró un tiempo de retención de 15 minutos y un factor de seguridad.

$$V_{prisma} = Q + Qr * t_{flot} * f$$

$$V_{prisma} = 4536 \frac{m^3}{dia} * 0.0104167 \text{ dia} * 1.10$$

$$V_{prisma} = 51.975 \text{ m}^3$$

Dónde:

V_{prisma} : volumen del prisma rectangular (m^3)

Q : caudal recirculado presurizado ($\frac{m^3}{día}$)

QR : caudal de ingreso al sistema de flotación ($\frac{m^3}{día}$)

T_{flot} : tiempo de retención en el tanque de flotación ($día$)

4.3.3. Ancho del tanque.

Una vez obtenido el volumen y el área superficial del tanque.

$$A_{prisma} = \frac{V_{prisma}}{A_s}$$

$$A_{prisma} = \frac{51.975 m^3}{18.9 m^2}$$

$$A_{prisma} = 2.75 m$$

Dónde:

A_{prisma} : ancho del prisma rectangular (m)

V_{prisma} : volumen del prisma rectangular (m^3)

A_s : área superficial del tanque de flotación (m^2)

4.3.4. Largo del tanque.

$$V_{prisma} = A_{prisma} * H_{prisma} * L_{prisma}$$

$$51.975 m^3 = 2.75m * 2.4 m * L_{prisma}$$

$$L_{prisma} = \frac{51.975 m^3}{2.4 m * 2.75 m}$$

$$L_{prisma} = 7.9 m$$

Dónde:

L_{prisma} : largo del prisma rectangular (m)

A_{prisma} : ancho del prisma rectangular (m)

V_{prisma} : volumen del prisma rectangular (m^3)

H_{prisma} : altura del prisma rectangular (m)

Tabla 35. Dimensiones finales del tanque de flotación.

Parámetro	valor	Unidad
Área superficial A_s	18.9	M2
Volumen del tanque de flotación	51.98	M3
Ancho del tanque de flotación	2.8	M
Altura del tanque de flotación	2.4	M
Largo del tanque de flotación	7.9	M
Altura del borde libre	0.3	m

Fuente: elaboración propia.

4.4. Dimensionamiento del tanque de presurización.

4.4.1. Volumen del tanque.

El volumen del tanque de presurización que depende del caudal de recirculación y el tiempo de retención en el tanque.

$$V_{\text{pres}} = Q * t_{\text{pres}}$$

$$V_{\text{pres}} = 52.5 \frac{l}{s} \frac{1m^3}{1000L} * 120 \text{ seg.}$$

$$V_{\text{pres}} = 6.30 m^3$$

Dónde:

V_{pres} : volumen del tanque de presurización (m^3)

t_{pres} : tiempo de retención en el tanque de presurización (s)

4.4.2. Altura del tanque.

Se consideró un diámetro del tanque de presurización igual a 2 m.

$$V_{pres} = \pi * r^2 * h$$

$$h = \frac{V_{pres}}{\pi * r^2}$$

$$h = \frac{6.24 \text{ m}^3}{\pi * \frac{2^2}{2}}$$

$$h = 2.005 \text{ m}$$

Dónde:

V_{pres} : volumen del tanque de presurización (m^3)

r: radio del tanque de presurización (m)

h: altura del tanque de presurización (m)

Tabla 36. Dimensiones finales del tanque de presurización.

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen del tanque de presurización	6.30	m ³
Altura del tanque de presurización	2.00	m
Diámetro del tanque de presurización	2.00	m
Altura del borde libre	0.30	m

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Parámetros de diseño para el tanque de presurización.

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Solubilidad de saturación del aire a la presión de operación del tanque	C _T	75.88	ml aire / L agua
Solubilidad de saturación del aire a la presión local atmosférica	C _L	17.64	ml/L agua
Cantidad de aire liberado	C _T -C _L	20.29	ml aire / L agua

Relación de aire / sólidos	A/S	0.06078	mg/L de aire liberado por despresurización / mg/L de sólidos suspendidos en el afluente.
----------------------------	-----	---------	---

Fuente: elaboración propia.

Tabla 38. Valores de A/S para diferentes presiones de operación a 20°C

Sólidos suspendidos (mg/L)	40 psi	50 psi	60 psi	70 psi	80 psi	90 psi	100 psi
1000	0.017	0.023	0.029	0.034	0.04	0.046	0.052
900	0.019	0.025	0.032	0.038	0.045	0.051	0.057
800	0.021	0.029	0.034	0.041	0.048	0.054	0.061
700	0.024	0.03	0.038	0.045	0.052	0.059	0.066
600	0.028	0.034	0.043	0.05	0.058	0.065	0.073
500	0.032	0.039	0.048	0.056	0.065	0.073	0.081
400	0.04	0.048	0.058	0.068	0.079	0.089	0.099
300	0.057	0.067	0.081	0.095	0.110	0.124	0.139
200	0.085	0.114	0.145	0.172	0.200	0.229	0.259
100	0.17	0.226	0.286	0.343	0.401	0.459	0.517

Fuente: Romero, A. J., & Rojas. (2017).

4.4.3. Cálculo de la bomba de impulsión para el sistema de flotación.

Datos usados

$$\text{Caudal de diseño} = 52.5 \text{ l/s} = 0.0525 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Altura estática } H_{est} = 2.7 \text{ m}$$

$$\text{Longitud total de tubería } L = 22.3 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro asumido de la tubería: } D = 6''$$

$$\text{Rugosidad de la tubería: } \varepsilon = 0.045 \text{ mm}$$

$$\text{Temperatura del agua: } T = 20^\circ\text{C}$$

Coefficientes de pérdidas por accesorios

$$K_{codo90} = 0.3$$

$$K_{tee} = 1$$

$$\text{Eficiencia de la bomba: } n = 65\%$$

Área de la tubería:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = 3.14 * \frac{0.1524^2}{4} = 0.01824 \text{ m}^2$$

Velocidad media

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0525}{0.01824} = 2.878 \frac{m}{s}$$

Numero de Reynolds

$$Re = \frac{VD}{\nu} = 4.37 \times 10^5 \text{ (regimen turbulento)}$$

Factor de fricción (f) formula de Swamee – Jain

$$f = 0.0165$$

Perdida por fricción (Darcy Weisbach)

$$hf = f * \frac{L * V^2}{D * 2g} = 1.045 \text{ m}$$

Perdida por accesorios

$$K_{tot} = 5 * 0.3 + 1 * 1 = 2.5$$

$$hm = K_{tot} * \frac{V^2}{2g} = 1.055 \text{ m}$$

Altura total requerida

$$TDH = H_{est} + hf + hm = 2.7 + 1.045 + 1.055 = 4.80 \text{ m}$$

Potencia hidráulica

$$P_{agua} = \rho g Q TDH = 1000 * 9.81 * 0.0525 * 4.80 = 3.120 \text{ W}$$

Potencia eléctrica de la bomba

$$P_{bomba} = \frac{P_{agua}}{n} = \frac{3120}{0.65} = 4.8 \text{ kW}$$

4.4.4. Análisis del funcionamiento del sistema de flotación

Caudal de entrada 52.5 l/s por modulo

solidos suspendidos totales = 414 mg/L

$$\frac{\text{Aire}}{\text{solidos}} = 0.0607$$

presion de saturacion = 50psi

4.5. Manual de operación y mantenimiento.

4.5.1. Objetivo del plan de operación

El objetivo del presente manual es establecer los procedimientos de operación, monitoreo, control y mantenimiento del sistema de flotación, **garantizando el cumplimiento de los parámetros de diseño** (caudal, presión, tiempos de retención y relación aire/sólidos) que aseguran la eficiencia en la remoción de grasas, aceites y sólidos suspendidos.

4.5.2. Descripción general del sistema

El sistema de flotación está diseñado para remover grasas, aceites y sólidos suspendidos finos mediante la inyección de microburbujas de aire, que arrastran las partículas hacia la superficie para ser retiradas como natas.

Principales componentes:

- **Sistema de inyección de aire** (compresor y válvulas).
- **Tanque de presurización** (caudal de entrada para presurizar + aire a presión).
- **Tanque de flotación** (zona de contacto, separación y recolección).
- **Válvulas y accesorios de control.**

4.5.3. Medición y control de caudales

Para garantizar la correcta operación se deben medir los caudales en tres puntos principales:

1. Caudal de entrada de agua cruda:

- Medición: la medición del caudal de ingreso al sistema de flotación se debe efectuar antes de la llegada al sub-sistema de presurización, es decir a la salida del pre – tratamiento.
- Frecuencia: lectura diaria al inicio y al final de cada turno.
- Rango de operación: 52.5 L/s ($\pm 10\%$).

Los valores deben anotarse en el registro de operación y compararse con los parámetros de diseño.

4.5.4. Toma de muestras de laboratorio

Se deben establecer puntos de muestreo fijos para control de calidad:

- **Punto 1:** Afluente al sistema (entrada).
- **Punto 2:** Efluente clarificado (a la salida del tanque de flotación o tanque de contacto).
- **Procedimiento:**
 - Tomar muestras puntuales en botellas de vidrio limpias de 1 L.
 - Frecuencia:
 - Diaria: observación visual (color, turbidez, espuma).
 - Semanal: análisis de SST, grasas y aceites.
 - Mensual: DBO₅ y otros parámetros complementarios.
 - Conservación: muestras refrigeradas a 4 °C y enviadas al laboratorio en menos de 6 h.

4.5.5. Procedimiento operativo diario

1. Verificar nivel de agua en el tanque y ausencia de obstrucciones.
2. Abrir válvulas de entrada y ajustar el caudal.
3. Encender equipos en el siguiente orden:
 - a. Compresor de aire.
 - b. Bomba de recirculación.
 - c. Flujo de entrada de agua cruda.
4. Verificar presión en tanque de presurización (50 psi $\pm$ 5%).
5. Confirmar formación de microburbujas en el tanque de flotación.
6. Recolectar natas superficiales según frecuencia programada.
7. Registrar caudal, presión, temperatura y observaciones.

4.5.6. Limpiezas y mantenimientos rutinarios

- **Difusores/inyectores:** limpieza semanal con cepillo y agua a presión.
- **Tanque de flotación:** lavado interno mensual, drenando totalmente el agua.

- **Sistema de válvulas y bombas:** revisión semanal para verificar ausencia de fugas y ruidos anormales.
- **Purgas de fondo:** apertura semanal para eliminar lodos sedimentados y evitar incrustaciones en la tubería de entrada al sistema y en la tubería de salida del tanque de flotación.
- **Recolección de grasas y aceites:** en la superficie del tanque de flotación. en la zona de acumulación de natas de manera manual con redes y baldes de recolección.
 - **Frecuencia:** cada 2 horas o cuando se observe acumulación excesiva.
 - **Justificación:** si no se recolectan. se genera sobrecarga en la superficie. pérdida de eficiencia y posible arrastre de sólidos al efluente.

4.5.7. Registro de operación

Debe llenarse diariamente un formato de registro que incluya:

- Fecha y hora.
- Caudal de entrada. recirculación y purga.
- Presión en tanque de presurización.
- Observaciones del efluente (color. turbidez. espuma).
- Volumen de natas retiradas.
- Acciones correctivas aplicadas (si corresponde).

4.5.8. control de presión en el tanque de presurización

- **Dónde medirla:** en el manómetro instalado en la parte superior del tanque de presurización.
- **Cómo controlarla:**
 - Ajustando la **válvula de aire** que regula la cantidad de aire comprimido inyectado.
 - Verificando la operación de la bomba de recirculación (caudal constante).
- **Rango de diseño:** 50 psi $\pm$ 5 psi.
- **Acciones correctivas:**

- Si la presión baja → revisar fugas. ajustar válvula de entrada de aire o incrementar caudal de recirculación.
- Si la presión sube → purgar aire excedente o reducir caudal de recirculación.
- **Justificación:** la presión asegura la saturación de aire en el agua recirculada; fuera del rango se pierde eficiencia de flotación.

4.5.9. Cumplimiento de parámetros de diseño

Tabla 39. Cuadro de control operativo.

Parámetro	Valor de diseño	Como se controla	Frecuencia	Acción correctiva
Caudal de entrada	52.5 l/s	Caudalímetro instalado en la tubería antes del tanque de presurización	diario	Ajustar válvula de entrada
Presión en tanque	50 psi $\pm$ 5	Manómetro	Diario	Ajustar válvula de aire / revisar fugas
Tiempo de retención	15 min flotación / 2 min presurización	Control por caudal y volumen del tanque	Semanal	Ajustar caudal
Frecuencia de recolección de natas	Cada 120 min	Supervisión visual + rascador	Diario	Retirar manualmente acumulaciones
Relación A/S	0.060787	Relación caudal aire – carga de SST	semanal	Ajustar aire inyectado

Fuente: Elaboración propia.

4.5.10. Problemas y fallas comunes

- **No se forman burbujas:** verificar línea de aire. presión y estado del difusor.
- **Agua turbia en el efluente:** caudal alto o presión insuficiente; ajustar válvulas.
- **Espuma excesiva:** exceso de aire o acumulación de grasas; regular presión y limpiar superficie.
- **Bomba no arranca:** revisar conexión eléctrica. válvula de succión y obstrucciones.

4.6. Justificación técnica del no uso de coagulante químico en el diseño del DAF.

De acuerdo con Greene, R., Mandell, J., & Smith, M. (2023). en casos industriales donde las descargas de grasas y aceites (FOG) superan los **100 mg/L**. los sistemas convencionales no son suficientes para cumplir con los límites de vertido. Por ello. se requiere la implementación de procesos adicionales de pretratamiento. como la adición de coagulantes químicos.

con el fin de garantizar que la concentración final se mantenga por debajo del umbral permitido.

En este caso, las concentraciones observadas de grasas y aceites a la entrada del sistema DAF se encuentran por debajo de dichos valores (2-11 mg/L. según análisis de laboratorio), por lo que el sistema puede operar adecuadamente solo con aireación y separación física mediante microburbujas, sin necesidad de recurrir a etapas adicionales de coagulación química. Esta decisión también responde a criterios de eficiencia operativa y optimización de costos.

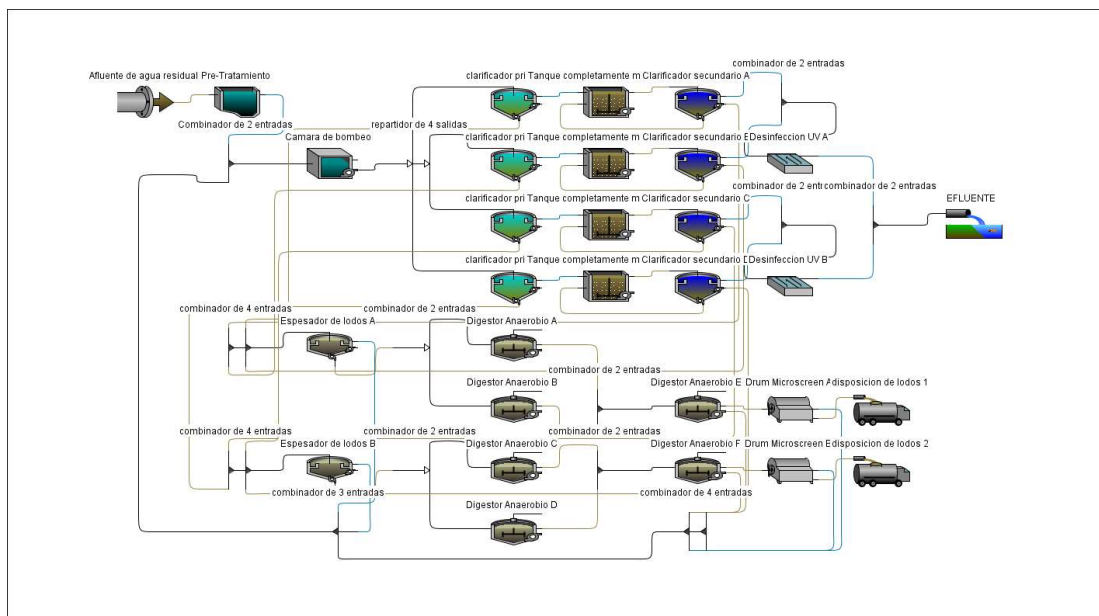
En el diseño del sistema de flotación propuesto para la PTAR San Blas, no se consideró la adición de coagulantes químicos debido a que las concentraciones de grasas y aceites registradas en el afluente se mantienen por debajo del umbral generalmente aceptado para requerir procesos de coagulación-floculación asistida.

De acuerdo con la literatura técnica y experiencias operativas en plantas similares, el uso de coagulantes como sulfato de aluminio o cloruro férrico es recomendable cuando las concentraciones de grasas y aceites superan los **100–150 mg/L**, especialmente cuando se requiere una remoción más intensiva para cumplir con normativas de vertido exigentes o cuando se presentan problemas de emulsificación que dificultan la separación físico-química convencional.

4.7. Simulación computacional de una PTAR.

4.7.1. Aplicación y modelado de la PTAR San Blas.

Figura 23. Esquema de la PTAR San Blas en el software GPS-X



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Coeficientes estequiométricos del modelo CODfractions.

Coeficiente	Ecuación (fracción)	GPS-X (default)	Loaiza (2007)	Estudio Actual (2023)	Rieger et al. (2013)
ivt	SSV/SST	0.75	0.766	0.794	0.700 - 0.91
frscod	DQOsol/DQOtot	0.25	0.2189	0.5	0.150 - 0.75
frsi	SI/DQOsol	0.2	0.2186	0.3186	-
frxs	XS/DQOpart	0.82	0.53	0.82	-
frxbh	XBH/DQOpart	0	0	0	-
frxba	XBA/DQOpart	0	0	0	-
frxu	XP/DQOpart	0	0	0	-
frsnh	SNH/NTKsol	0.9	0.8353	0.9	-
icv	DQOpart/SSV	1.8	2.2708	1.77	1.400 - 3.50
fbod	DBOs/DBOu	0.66	0.7042	0.56	0.533 - 0.76
ixbn	iXB (ASM1)	0.086	0.086	0.086	-
ixun	iXP (ASM1)	0.06	0.06	0.06	-

Fuente: Condori Quispe David. 2023

Tabla 41. Variables de estado.

Variables ASM1	Descripción	GPS-X (default)	Loaiza (2007)	San Blas (2023)
SI	Material orgánico inerte soluble	11.91	11.4	37.95
SS	Sustrato rápidamente biodegradable	47.64	40.74	81.16
XI	Material orgánico particulado	32.16	87.45	21.44
XS	Sustrato lentamente biodegradable	146.49	98.61	97.66
XBH	Biomasa heterótrofa activa	0	0	0
XBA	Biomasa autótrofa activa	0	0	0
XP	Partículas no biodegradables del decaimiento	0	0	0
Oxígeno disuelto				
So	oxígeno disuelto	0.03	0.03	0.03
materia nitrogenada				
SNO	Nitritos y nitratos	11.22	11.22	11.22
SNH	Nitrógeno amoniacal	24.34	24.34	24.34
SND	Nitrógeno orgánico soluble biodegradable	2.7	4.8	2.7
XND	Nitrógeno orgánico particulado biodegradable	6.61	1.2	7.26
limitante de alcalinidad				
Salk	alcalinidad (mol/m3)	8	8	8
variables compuestas				
DQOsol	DQO soluble (filtrada)	59.55	52.14	119.1
DQOpart	DQO particulada	178.65	186.06	119.1
DQOtot	DQO total	238.2	238.2	238.2
DBO _s . sol	DBO _s soluble (filtrada)	31.44	28.69	45.42
DBO _s . part	DBO _s particulada	96.69	69.44	54.66
DBO _s	DBO _s total	128.13	98.13	100.09
DBO _u . sol	DBO última soluble (filtrada)	47.64	40.74	81.16
DBO _u . part	DBO última particulada	146.49	98.61	97.66
DBO _u . Tot	DBO última total	194.13	139.36	178.82
NTKsol	NTK soluble (filtrada)	27.05	29.14	27.05
NTKpart	NTK particulada	8.54	6.45	8.54
NTKtot	NTK total	35.59	35.59	35.59
SSI	Sólidos suspendidos inorgánicos	33.08	25.03	17.42
SSV	Sólidos suspendidos volátiles	99.25	81.94	67.13
SST	Sólidos suspendidos totales	132.33	106.97	84.55

Fuente: Condori Quispe David. 2023

Tabla 42. Datos de entrada para la simulación del modelo en Influent Advisor.

Librería: cnlib			
Modelo del Influyente: bodbased			
Modelo biológico: mantis			
Composición del influente			
bod	DBO5 carbonosa total	gO2/m3	291
x	sólidos suspendidos totales	g/m3	414
tkn	NTK total	gN/m3	21.5
Variables orgánicas			
si	material orgánico soluble inerte"	gCOD/m3	37.95
xbh	biomasa heterotrófica activa	gCOD/m3	0
xba	biomasa autotrófica activa	gCOD/m3	0
xu	materia particulada no biodegradable de descomposición celular	gCOD/m3	0
Oxígeno disuelto			
so	oxígeno disuelto	gO2/m3	0.03
Compuestos de nitrógeno.			
sno	nitrito y nitrato	gN/m3	11.22
snn	dinitrógeno (nitrógeno molecular)	gN/m3	0
Alcalinidad			
salk	alcalinidad	mole/m3	8
Fracciones de Influyente			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Continuación de Datos de entrada para la simulación del modelo en Influent Advisor.

icv	proporción XCOD / SSV	gCOD/gVSS	1.7741
fbod	Tasa DBO5 / DBOúltima	-	0.5597
Coefficientes del modelo BODbased			
fss	substrato soluble/DBO última	-	0.23
fnh	proporción amonio / NKT	-	0.4
fxn	proporción N orgánico particulado / N orgánico total	-	0.9
ivt	proporción SSV / SST	gVSS/gTSS	0.794
Fracciones de nutrientes (Mantis)			
ibhn	Contenido de N de la biomasa activa	gN/gCOD	0.086
iuhn	Contenido de N de la masa endógena / inerte	gN/gCOD	0.06

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44. Continuación de Datos de entrada para la simulación del modelo en Influent Advisor.

Sólidos suspendidos inorgánicos			
xii	sólidos suspendidos inorgánicos inertes	g/m3	85.284
Variables orgánicas			
si	material orgánico soluble inerte"	gCOD/m3	37.95
ss	substrato biodegradable disponible	gCOD/m3	119.58
xi	material orgánico inerte particulado	gCOD/m3	182.83
xs	substrato lentamente biodegradable	gCOD/m3	400.33
xbh	biomasa heterotrófica activa	gCOD/m3	0
xba	biomasa autotrófica activa	gCOD/m3	0
xu	materia particulada no biodegradable de descomposición celular	gCOD/m3	0
xsto	producto almacenado en las células	gCOD/m3	0
Oxígeno disuelto			
so	oxígeno disuelto	gO2/m3	0.03
Compuestos de nitrógeno			
snh	amoníaco libre e ionizado	gN/m3	8.6
snd	nitrógeno orgánico biodegradable soluble	gN/m3	1.29
xnd	nitrógeno orgánico biodegradable particulado	gN/m3	0.64
sno	nitrito y nitrato	gN/m3	11.22
snn	dinitrógeno (nitrógeno molecular)	gN/m3	0
alcalinidad			
salk	alcalinidad	mole/m3	8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Continuación de Datos de entrada para la simulación del modelo en Influent Advisor.

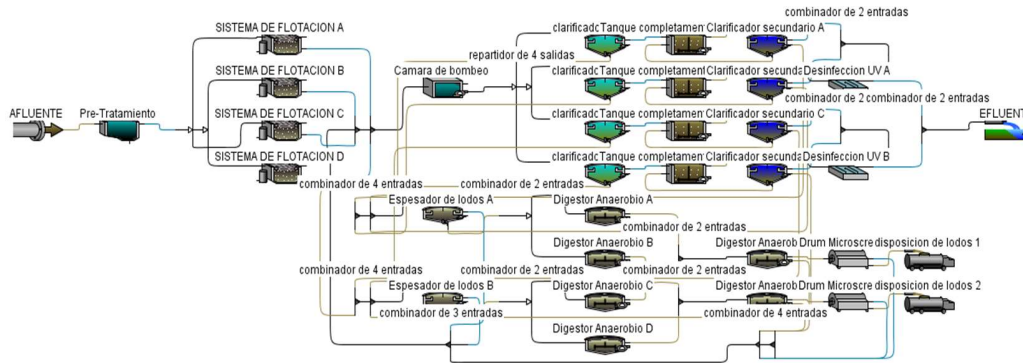
Fracción volátil			
ivt	proporción SSV / SST	gVSS/gTSS	0.794
Variables compuestas			
x	sólidos suspendidos totales	g/m3	414
vss	sólidos suspendidos volátiles	g/m3	328.72
xiss	sólidos suspendidos inorgánicos totales	g/m3	85.284
bod	DBO5 carbonosa total	gO2/m3	291
cod	DQO total	gCOD/m3	740.71
tkn	NTK total	gN/m3	21.5
Variables compuestas adicionales			
sbod	DBO5 carbonosa filtrada	gO2/m3	66.93
xbod	DBO5 carbonosa particulada	gO2/m3	224.07
sbodu	DBO carbonosa última filtrada	gO2/m3	119.58
xbodu	DBO carbonosa última particulada	gO2/m3	400.34
bod	DBO carbonosa última total	gO2/m3	519.91
scod	DQO filtrada	gCOD/m3	157.54
xcod	DQO particulada	gCOD/m3	583.18
stkn	NTK filtrado	gN/m3	9.89
xtkn	NTK particulado	gN/m3	11.61

tn	nitrógeno total	gN/m3	32.72
----	-----------------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia.

4.7.2. Verificación de la eficiencia con sistema de flotación.

Figura 24. Esquema de la PTAR con sistema de flotación.



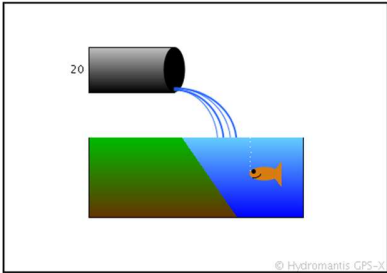
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Datos de entrada a la PTAR.

AFLUENTE		
Flujo	m3/d	18140
Simulation Results		
Flujo	m3/d	18144
SST	mg/L	414
VSS	mg/L	328.716
cBOD5	mg/L	291
DQO	mg/L	740.707
Soluble COD	mg/L	157.532
Amonio N	mgN/L	8.6
NKT	mgN/L	21.5
TN	mgN/L	32.72
Alcalinidad	mgCaCO3/L	400
DO	mgO2/L	0.03

Fuente: Elaboración propia.

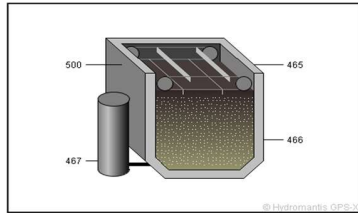
Tabla 47. Resultados de salida de la PTAR sin sistema de flotación.

EFLUENTE		
		
Flow	m3/d	18142.52
Simulation Results		
Flow	m3/d	18142.52
TSS	mg/L	79.98
VSS	mg/L	66.58
cBOD5	mg/L	34.55
COD	mg/L	140.58
Ammonia N	mgN/L	4.02
Nitrite/Nitrate N	mgN/L	7.99
TKN	mgN/L	11.27
TN	mgN/L	19.26
Alkalinity	mgCaCO3/L	379.64
DO	mgO2/L	2.00
Operational Variables		
Overall EQI	kg/d	10940.68
Net EQI	kg/d	6876.75
Mass Flows		
TSS	kg/d	1451.06
COD	kg/d	2550.52
TN	kg/d	349.37

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. Resultados de entrada y salida del sistema de flotación.

SISTEMA DE FLOTACION A



		500	465	466	467
SST	mg/L	394.00	20000.00	247.29	0.00

Simulation Parameters

		466
Surface Area	m3	18.90
Maximum Water Level	m	2.40
Feed Point from Bottom	m	2.00

Simulation Results

		500	466	465
Flujo	m3/d	4536.00	4502.31	33.69
SST	mg/L	394.00	247.29	20000.00
Alcalinidad	mgCaCO3/L	400.00	400.00	400.00
DO	mgO2/L	0.03	0.03	0.03

Operational Variables

		466	465
Tiempo de residencia hidráulico	h	0.24	-
Hyd. Loading Rate	m3/(m2.d)	240.00	-
Solids Loading Rate	kg/(m2.d)	94.56	-
Solids Capture - Mass Basis	%	37.70	-
Float Solids Mass Flow	kg/d	-	673.82

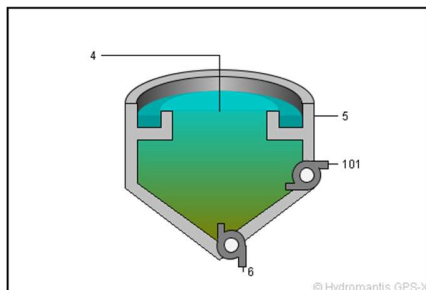
Mass Flows

		500	467	466	465	Total In	Total Out
SST	kg/d	1787.18	-	1113.37	673.82	1787.18	1787.18
DQO	kg/d	3359.85	-	2357.20	1002.65	3359.85	3359.85
TN	kg/d	148.42	-	127.85	20.57	148.42	148.42

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49. Resultados del sedimentador primario con sistema de flotación.

clarificador primario A



		4	5	101	6
Flujo	m3/d	4584.99	4562.07	0.00	22.92

Simulation Parameters

		5
Feed Point from Bottom	m	2.50
Surface	m2	154.00
Water Depth at Sidewall	m	2.50
Water Depth at Center	m	3.00

Simulation Results

		4	5	101	6
Flujo	m3/d	4584.99	4562.07	0.00	22.92
SST	mg/L	309.99	124.38	0.00	37246.18
VSS	mg/L	258.65	103.78	0.00	31077.58
cBOD5	mg/L	222.41	129.69	67.55	18673.69
DQO	mg/L	602.69	336.22	157.64	53630.41
NKT	mgN/L	23.87	17.07	12.52	1375.81
Alcalinidad	mgCaCO3/L	400.68	400.68	400.68	400.68
DO	mgO2/L	0.03	0.03	0.00	0.00

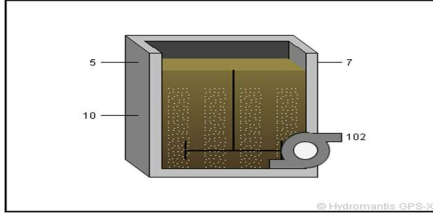
Operational Variables

		5	6
Tiempo de residencia hidráulico	h	2.15	-
Surf. Overflow Rate	m3/(m2.d)	29.62	-
Solids Loading Rate	kg/(m2.d)	9.23	-
TSS Rem. Eff.	%	59.88	-
cBOD5 Rem. Eff.	%	41.69	-
TN Rem. Eff.	%	19.41	-
Water Level	m	3.00	-
Sludge Blanket Height	m	0.71	-
Raw Sludge Flow	m3/d	-	22.92
Raw Sludge Solids	mg/L	-	37246.18
Raw Sludge Production	kg/d	-	853.87

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50. Datos de salida del reactor de lodos activados.

Tanque completamente mezclado A



		5	7	102	10
Flujo	m3/d	4562.07	6843.10	0.00	2281.03

Simulation Parameters

		7
Tank Depth	m	4.00
Valor de ajuste del OD	mgO2/L	2.00

Simulation Results

		5	Internal	7
MLSS	mg/L	124.38	2252.68	2252.68
MLVSS	mg/L	103.78	1921.82	1921.82
Soluble COD	mg/L	157.64	42.25	42.25
Ammonia N	mgN/L	11.23	5.18	5.18
Nitrite/Nitrate N	mgN/L	11.14	9.07	9.07
Alcalinidad	mgCaCO3/L	400.68	385.41	385.41
Tiempo de residencia hidráulico	h	-	3.37	-
DO	mgO2/L	-	2.00	-
Total OUR	mgO2/(L.h)	-	22.05	-
Nitrification Rate	mgN/(L.h)	-	0.00	-
Nitrate Util. Rate	mgN/(L.h)	-	0.38	-
Flujo de Aire Total	m3/h	-	711.47	-
SOTE	%	-	30.00	-
Actual OTR	kg/h	-	21.73	-

Operational Variables

		7
F to M Ratio	kgBOD5/(kgMLVSS.d)	0.32
Vol. Org. Loading	kgBOD5/(m3.d)	0.62
RAS Recycle Ratio	%	50.00

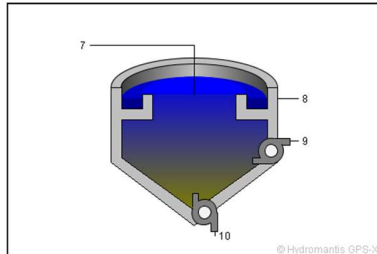
Mass Flows

		5	10	7	102	Total In	Total Out
SST	kg/d	567.44	14775.46	15415.31	0.00	15342.90	15415.31
DQO	kg/d	1533.84	18752.27	19752.94	0.00	20286.12	19752.94
TN	kg/d	128.71	1276.94	1399.04	0.00	1405.66	1399.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51. Datos de salida del sedimentador secundario.

Clarificador secundario A



		7	8	9	10
Flujo	m3/d	6843.10	4502.07	60.00	2281.03

Simulation Parameters

		8
Feed Point from Bottom	m	3.60
Surface	m2	188.69
Water Depth at Sidewall	m	3.60
Water Depth at Center	m	4.10

Simulation Results

		7	8	9	10
Flujo	m3/d	6843.10	4502.07	60.00	2281.03
SST	mg/L	2252.68	55.80	6477.53	6477.53
VSS	mg/L	1921.82	47.61	5526.15	5526.15
cBOD5	mg/L	1030.34	28.29	2957.40	2957.40
DQO	mg/L	2886.55	112.71	8220.95	8220.95
Ammonia N	mgN/L	5.18	5.18	5.18	5.18
Nitrite/Nitrate N	mgN/L	9.07	9.07	9.07	9.07
NKT	mgN/L	195.38	10.59	550.74	550.74
TN	mgN/L	204.45	19.66	559.81	559.81
Alcalinidad	mgCaCO3/L	385.41	385.41	385.41	385.41
DO	mgO2/L	2.00	2.00	0.00	0.00

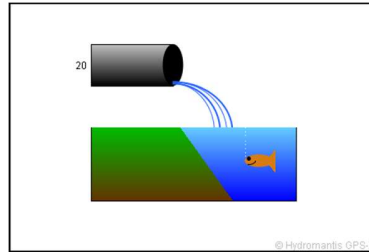
Operational Variables

		8	10	9
Tiempo de residencia hidráulico	h	2.49	-	-
Surf. Overflow Rate	m3/(m2.d)	23.86	-	-
Solids Loading Rate	kg/(m2.d)	81.70	-	-
Water Level	m	4.10	-	-
Sludge Blanket Height	m	0.52	-	-
RAS Flow	m3/d	-	2281.03	-
RAS Solids	mg/L	-	6477.53	-
WAS Flow	m3/d	-	-	60.00
WAS Solids	mg/L	-	-	6477.53
WAS Production	kg/d	-	-	388.65

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52. Datos de salida de la PTAR con sistema de flotación.

EFLUENTE



		20
Flujo	m3/d	18008.28

Simulation Results

		20
Flujo	m3/d	18008.28
SST	mg/L	55.80
VSS	mg/L	47.61
cBOD5	mg/L	28.29
DQO	mg/L	112.71
Ammonia N	mgN/L	5.18
Nitrite/Nitrate N	mgN/L	9.07
NKT	mgN/L	10.59
TN	mgN/L	19.66
Alcalinidad	mgCaCO3/L	385.41
DO	mgO2/L	2.00

Operational Variables

		20
Overall EQI	kg/d	9037.78
Net EQI	kg/d	5003.93

Mass Flows

		20	Total In	Total Out
SST	kg/d	1004.92	-	-
DQO	kg/d	2029.76	-	-
TN	kg/d	354.05	-	-

Fuente: Elaboración propia.

4.7.3. Verificación del sistema de flotación bajo condiciones actuales de funcionamiento.

Para realizar una simulación de la PTAR en condiciones actuales se modificó el caudal de entrada el cual pasó de 210 l/s (caudal de diseño de la PTAR) a un Qmax de 70 l/s que se asemeja al caudal con el cual la PTAR opera actualmente. también se modificó la configuración en GPS-X Pasando de un modelo con todos los componentes a un modelo solo con los componentes que están en operación actualmente.

Tabla 53. Datos actuales de caudal de entrada al tren A (2025) en la PTAR San Blas.

TREN A					
FECHA DE MUESTREO	CAUDAL (l/s)	FECHA DE MUESTREO	CAUDAL (l/s)	FECHA DE MUESTREO	CAUDAL (l/s)
13/03/2025	22.236	10/04/2025	26.392	08/05/2025	32.626
14/03/2025	25.574	11/04/2025	29.977	09/05/2025	32.521
15/03/2025	28.838	12/04/2025	30.143	10/05/2025	31.374
16/03/2025	30.444	13/04/2025	30.037	11/05/2025	34.147
17/03/2025	29.048	14/04/2025	28.572	12/05/2025	32.149
18/03/2025	26.340	15/04/2025	29.035	13/05/2025	31.331
19/03/2025	30.269	16/04/2025	29.365	04/06/2025	32.390
20/03/2025	29.573	17/04/2025	28.080	05/06/2025	30.964
21/03/2025	23.443	18/04/2025	30.849	06/06/2025	31.954
22/03/2025	25.847	19/04/2025	27.898	07/06/2025	29.236
23/03/2025	25.454	20/04/2025	29.607	08/06/2025	31.356
24/03/2025	27.624	21/04/2025	28.152	09/06/2025	31.373
25/03/2025	31.299	22/04/2025	18.534	10/06/2025	30.996
26/03/2025	30.553	23/04/2025	25.212	11/06/2025	30.369
27/03/2025	29.599	24/04/2025	30.296	12/06/2025	30.673
28/03/2025	31.185	25/04/2025	27.525	13/06/2025	32.704
29/03/2025	26.765	26/04/2025	26.097	14/06/2025	32.547
30/03/2025	20.978	27/04/2025	28.395	15/06/2025	32.052
31/03/2025	26.307	28/04/2025	29.223	16/06/2025	32.891
01/04/2025	30.153	29/04/2025	29.748	17/06/2025	23.902
02/04/2025	29.990	30/04/2025	28.247	18/06/2025	32.509
03/04/2025	28.522	01/05/2025	29.780	19/06/2025	31.728
04/04/2025	29.316	02/05/2025	29.748	20/06/2025	32.882
05/04/2025	29.420	03/05/2025	30.453	21/06/2025	30.458
06/04/2025	26.716	04/05/2025	33.090	22/06/2025	30.115
07/04/2025	28.599	05/05/2025	33.492	23/06/2025	29.433
08/04/2025	27.265	06/05/2025	33.584	24/06/2025	32.119
09/04/2025	28.520	07/05/2025	32.541	25/06/2025	23.000
Promedio					29.330
Mínimo					18.534
Máximo					34.147
Desv. Estándar					2.949

Fuente: PTAR San Blas.

Tabla 54. Datos actuales de caudal de entrada al tren B (2025) en la PTAR San Blas.

TREN B					
FECHA DE MUESTREO	CAUDAL (l/s)	FECHA DE MUESTREO	CAUDAL (l/s)	FECHA DE MUESTREO	CAUDAL (l/s)
13/03/2025	23.752	10/04/2025	27.457	08/05/2025	37.617
14/03/2025	26.609	11/04/2025	27.959	09/05/2025	35.291
15/03/2025	32.144	12/04/2025	30.666	10/05/2025	33.631
16/03/2025	36.669	13/04/2025	33.653	11/05/2025	34.709
17/03/2025	30.197	14/04/2025	30.224	12/05/2025	39.333
18/03/2025	28.333	15/04/2025	30.490	13/05/2025	37.267
19/03/2025	30.679	16/04/2025	31.664	04/06/2025	40.474
20/03/2025	29.635	17/04/2025	28.782	05/06/2025	35.062
21/03/2025	27.493	18/04/2025	32.238	06/06/2025	32.878
22/03/2025	25.922	19/04/2025	30.477	07/06/2025	35.815
23/03/2025	25.326	20/04/2025	30.358	08/06/2025	35.899
24/03/2025	31.894	21/04/2025	29.705	09/06/2025	35.699
25/03/2025	29.878	22/04/2025	21.199	10/06/2025	35.624
26/03/2025	34.228	23/04/2025	26.094	11/06/2025	34.730
27/03/2025	31.599	24/04/2025	32.833	12/06/2025	34.200
28/03/2025	31.867	25/04/2025	27.985	13/06/2025	34.574
29/03/2025	23.773	26/04/2025	27.130	14/06/2025	36.987
30/03/2025	23.503	27/04/2025	30.411	15/06/2025	36.394
31/03/2025	30.108	28/04/2025	31.282	16/06/2025	37.012
01/04/2025	33.375	29/04/2025	33.043	17/06/2025	29.306
02/04/2025	28.731	30/04/2025	32.873	18/06/2025	37.440
03/04/2025	28.730	01/05/2025	34.815	19/06/2025	36.954
04/04/2025	30.265	02/05/2025	32.201	20/06/2025	36.081
05/04/2025	31.670	03/05/2025	35.270	21/06/2025	34.481
06/04/2025	28.530	04/05/2025	33.885	22/06/2025	34.854
07/04/2025	32.856	05/05/2025	38.270	23/06/2025	34.340
08/04/2025	29.793	06/05/2025	38.516	24/06/2025	34.119
09/04/2025	31.689	07/05/2025	33.477	25/06/2025	27.690
Promedio					32.032
Mínimo					21.199
Máximo					40.474
Desv. Estándar					3.949

Fuente: PTAR San Blas.

$$Q_{\max} \text{ Tren A} = 34.147 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$Q_{\max} \text{ Tren B} = 40.474 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$\text{caudal de diseño para condiciones actuales} = 34.147 + 40.147 = 74.621 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Figura 25. Monitor de caudal del tren A PTAR SAN BLAS



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Monitor de caudal del tren B PTAR SAN BLAS

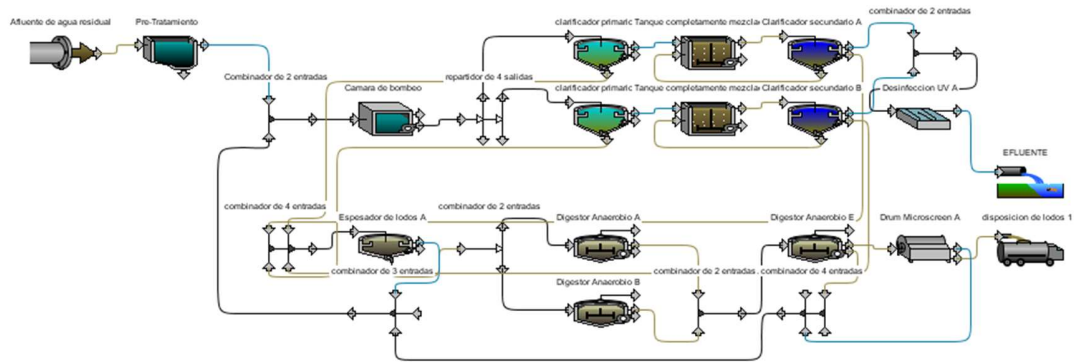


Fuente: Elaboración propia.

Para realizar una simulación de la PTAR en condiciones actuales se modificó el caudal de entrada el cual pasó de 210 l/s (caudal de diseño de la PTAR) a un Qmax. de 74.621 l/s que se asemeja al caudal con el cual la PTAR opera actualmente. también se modificó la

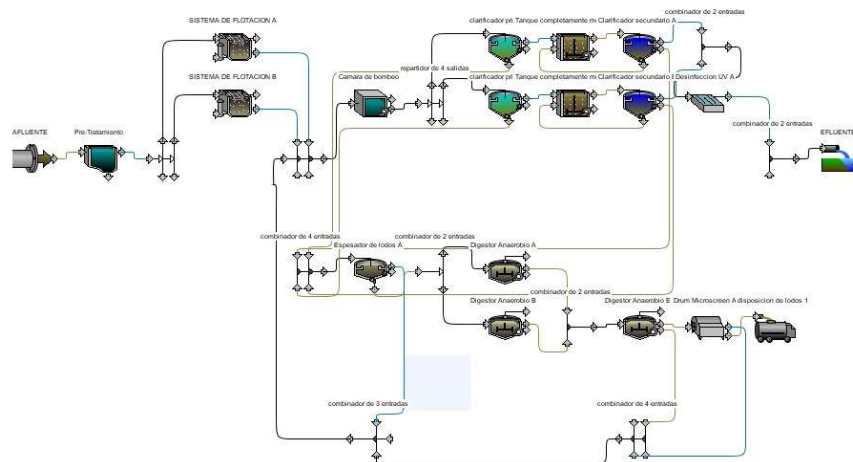
configuración en GPS-X Pasando de un modelo con todos los componentes a un modelo solo con los componentes que están en operación actualmente.

Figura 27. configuración de la PTAR en condiciones actuales



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. configuración de la PTAR con condiciones actuales con el sistema de flotación.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55. Datos de entrada al sistema

Afluente de agua residual

		1
Flujo	m3/d	6447.25

Simulation Parameters

1

Simulation Results

		1
Flujo	m3/d	6447.25
SST	mg/L	414.00
VSS	mg/L	328.72
cBOD5	mg/L	291.44
DQO	mg/L	740.89
Soluble COD	mg/L	157.71
Ammonia N	mgN/L	8.60
NKT	mgN/L	21.50
TN	mgN/L	32.72
Alcalinidad	mgCaCO3/L	400.00
DO	mgO2/L	0.03

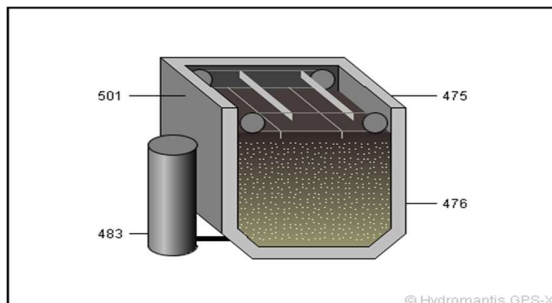
Mass Flows

		1
SST	kg/d	2669.16
DQO	kg/d	4776.69
TN	kg/d	210.95

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56. Resultados de salida del sistema de flotación.

SISTEMA DE FLOTACION B



		501	475	476	483
Flujo	m3/d	1611.81	19.83	1591.98	0.00

Simulation Parameters

		476
Surface Area	m3	18.90
Maximum Water Level	m	2.40
Feed Point from Bottom	m	2.00

Simulation Results

		501	476	475
Flujo	m3/d	1611.81	1591.98	19.83
SST	mg/L	394.00	149.72	20000.00
Alcalinidad	mgCaCO3/L	400.00	400.00	400.00
DO	mgO2/L	0.03	0.03	0.03

Operational Variables

		476	475
Tiempo de residencia hidráulico	h	0.68	-
Hyd. Loading Rate	m3/(m2.d)	85.28	-
Solids Loading Rate	kg/(m2.d)	33.60	-
Solids Capture - Mass Basis	%	62.47	-
Float Solids Mass Flow	kg/d	-	396.70

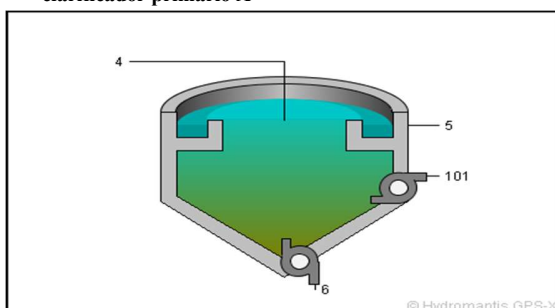
Mass Flows

		501	483	476	475	Total In	Total Out
SST	kg/d	635.05	-	238.36	396.70	635.05	635.05
DQO	kg/d	1193.88	-	603.59	590.29	1193.88	1193.88
TN	kg/d	52.74	-	40.63	12.11	52.74	52.74

Fuente: elaboración propia.

Tabla 57. Resultados de salida del sedimentador primario.

clarificador primario A



		4	5	101	6
SST	mg/L	165.66	42.36	0.00	24701.06

Simulation Parameters

		5
Feed Point from Bottom	m	2.50
Surface	m2	154.00
Water Depth at Sidewall	m	2.50
Water Depth at Center	m	3.00

Simulation Results

		4	5	101	6
Flujo	m3/d	828.05	823.91	0.00	4.14
SST	mg/L	165.66	42.36	0.00	24701.06
VSS	mg/L	137.92	35.27	0.00	20566.01
cBOD5	mg/L	151.29	86.89	64.77	12966.23
DQO	mg/L	394.20	215.01	153.45	36051.62
NKT	mgN/L	16.53	12.34	10.91	850.04
Alcalinidad	mgCaCO3/L	398.96	398.96	398.96	398.96
DO	mgO2/L	0.10	0.10	0.00	0.00

Operational Variables

		5	6
Tiempo de residencia hidráulico	h	11.90	-
Surf. Overflow Rate	m3/(m2.d)	5.35	-
Solids Loading Rate	kg/(m2.d)	0.89	-
TSS Rem. Eff.	%	74.43	-
cBOD5 Rem. Eff.	%	42.56	-
TN Rem. Eff.	%	15.06	-
Water Level	m	3.00	-
Sludge Blanket Height	m	0.40	-
Raw Sludge Flow	m3/d	-	4.14
Raw Sludge Solids	mg/L	-	24701.06
Raw Sludge Production	kg/d	-	102.27

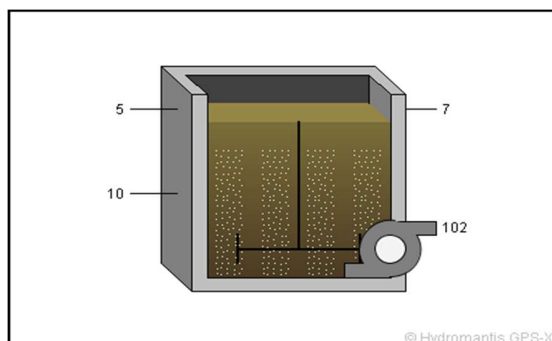
Mass Flows

		4	5	101	6	Total In	Total Out
SST	kg/d	137.17	34.90	0.00	102.27	137.17	137.17
DQO	kg/d	326.41	177.15	0.00	149.26	326.41	326.41
TN	kg/d	23.03	19.47	0.00	3.57	23.03	23.03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58. Resultados de salida del reactor de lodos activados.

Tanque completamente mezclado A



		5	7	102	10
Flujo	m3/d	823.91	1235.86	0.00	411.95

Simulation Parameters

		7
Tank Depth	m	4.00
Valor de ajuste del OD	mgO2/L	2.00

Simulation Results

		5	Internal	7
MLSS	mg/L	42.36	306.87	306.87
MLVSS	mg/L	35.27	272.99	272.99
Soluble COD	mg/L	153.45	41.22	41.22
Ammonia N	mgN/L	9.64	2.24	2.24
Nitrite/Nitrate N	mgN/L	11.28	13.63	13.63
Alcalinidad	mgCaCO3/L	398.96	362.25	362.25
Tiempo de residencia hidráulico	h	-	18.64	-
DO	mgO2/L	-	2.00	-
Total OUR	mgO2/(L.h)	-	3.71	-
Nitrification Rate	mgN/(L.h)	-	0.15	-
Nitrate Util. Rate	mgN/(L.h)	-	0.05	-
Flujo de Aire Total	m3/h	-	118.71	-
SOTE	%	-	30.00	-
Actual OTR	kg/h	-	3.63	-

Operational Variables

		7
F to M Ratio	kgBOD5/(kgMLVSS.d)	0.27
Vol. Org. Loading	kgBOD5/(m3.d)	0.07
RAS Recycle Ratio	%	50.00

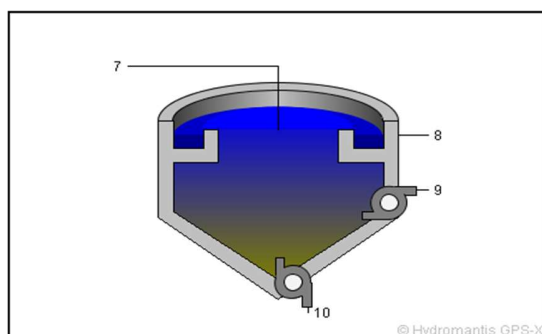
Mass Flows

		5	10	7	102	Total In	Total Out
SST	kg/d	34.90	326.36	379.25	0.00	361.27	379.25
DQO	kg/d	177.15	446.67	550.27	0.00	623.82	550.27
TN	kg/d	19.47	35.83	54.20	0.00	55.30	54.20

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59. Resultados del sedimentador primario.

Clarificador secundario A



		7	8	9	10
Flujo	m3/d	1235.86	763.91	60.00	411.95

Simulation Parameters

		8
Feed Point from Bottom	m	3.60
Surface	m2	188.69
Water Depth at Sidewall	m	3.60
Water Depth at Center	m	4.10

Simulation Results

		7	8	9	10
Flujo	m3/d	1235.86	763.91	60.00	411.95
SST	mg/L	306.87	7.14	792.23	792.23
VSS	mg/L	272.99	6.35	704.76	704.76
cBOD5	mg/L	165.73	5.97	424.42	424.42
DQO	mg/L	445.25	50.62	1084.27	1084.27
Ammonia N	mgN/L	2.24	2.24	2.24	2.24
Nitrite/Nitrate N	mgN/L	13.63	13.63	13.63	13.63
NKT	mgN/L	30.22	3.60	73.34	73.34
TN	mgN/L	43.86	17.23	86.98	86.98
Alcalinidad	mgCaCO3/L	362.25	362.25	362.25	362.25
DO	mgO2/L	2.00	2.00	2.00	2.00

Operational Variables

		8	10	9
Tiempo de residencia hidráulico	h	13.80	-	-
Surf. Overflow Rate	m3/(m2.d)	4.05	-	-
Solids Loading Rate	kg/(m2.d)	2.01	-	-
Water Level	m	4.10	-	-
Sludge Blanket Height	m	0.00	-	-
RAS Flow	m3/d	-	411.95	-
RAS Solids	mg/L	-	792.23	-
WAS Flow	m3/d	-	-	60.00
WAS Solids	mg/L	-	-	792.23
WAS Production	kg/d	-	-	47.53

Mass Flows

		7	8	9	10	Total In	Total Out
SST	kg/d	379.25	5.45	47.53	326.36	379.25	379.35
DQO	kg/d	550.27	38.67	65.06	446.67	550.27	550.39
TN	kg/d	54.20	13.16	5.22	35.83	54.20	54.21

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 60. Resultados de salida en condiciones actuales.

EFLUENTE

		19
Flujo	m3/d	3151.13

Simulation Results

		19
Flujo	m3/d	3151.13
SST	mg/L	16.43
VSS	mg/L	14.12
cBOD5	mg/L	10.08
DQO	mg/L	62.34
Ammonia N	mgN/L	3.17
Nitrite/Nitrate N	mgN/L	10.95
NKT	mgN/L	5.29
TN	mgN/L	16.24
Alcalinidad	mgCaCO3/L	376.64
DO	mgO2/L	2.00

Operational Variables

		19
Overall EQI	kg/d	731.53
Net EQI	kg/d	92.84

Mass Flows

		19
SST	kg/d	51.76
DQO	kg/d	196.45
TN	kg/d	51.19

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61. Resultados de salida de cada componente antes y después de la implementación del DAF.

SIN SISTEMA DE FLOTACION								
	En- trada (mg/l)	Pre trata- miento (mg/L)	Sedimentador pri- mario (mg/L)	Reactor de lodos activados	Sedimentador secun- dario (mg/L)	Efluente (mg/L)	% De re- moción	
DQO	740.8 9	740.70	275.90	1075.00	62.34	62.34	91.59	
DBO	291.4 4	291.00	110.10	386.80	10.08	10.08	96.54	
SST	414.0 0	394.00	82.16	812.00	16.43	16.43	96.03	
SSV	328.7 2	328.70	68.41	698.10	14.12	14.12	95.70	
CON SISTEMA DE FLOTACION								
	En- trada (mg/l)	Pre trata- miento (mg/L)	DAF (mg/L)	Sedimentador pri- mario (mg/L)	Reactor de lodos activados	Sedimentador se- cundario (mg/L)	Efluente (mg/L)	% de remo- ción
DQO	740.8 9	740.70	379.10	215.00	445.30	50.62	50.62	93.17
DBO	291.4 4	291.00	152.10	86.89	165.70	5.97	5.97	97.95
SST	414.0 0	394.00	149.70	42.36	306.90	7.14	7.14	98.28
SSV	328.7 2	328.70	124.90	35.27	273.00	6.35	6.35	98.07

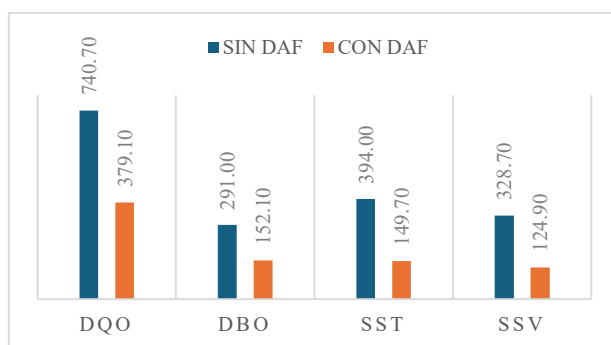
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62. Comparación de valores que salen del pre tratamiento

Parámetros	SIN DAF	CON DAF	% de mejora
DQO	740.70	379.10	48.82
DBO	291.00	152.10	47.73
SST	394.00	149.70	62.01
SSV	328.70	124.90	62.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Resultados de salida del pre tratamiento.



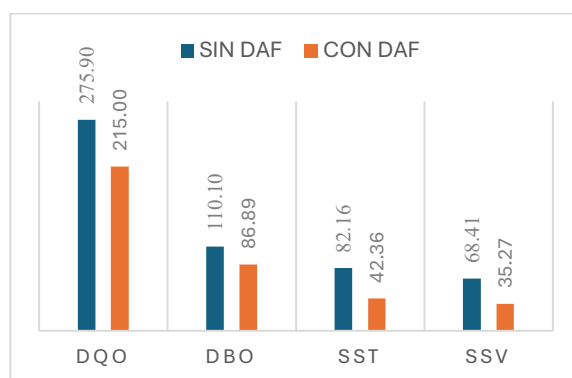
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63. Comparación de valores que salen del sedimentador primario

Parámetros	SIN DAF	CON DAF	% de mejora
DQO	275.90	215.00	22.07
DBO	110.10	86.89	21.08
SST	82.16	42.36	48.44
SSV	68.41	35.27	48.44

Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Resultados de salida del sedimentador primario.



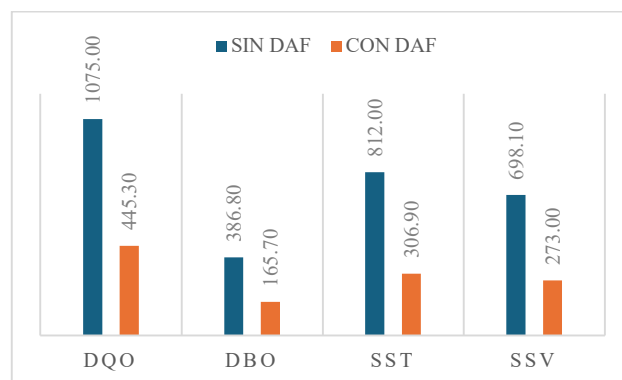
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64. Comparación de valores que salen del reactor de lodos activados.

Parámetros	SIN DAF	CON DAF	% de mejora
DQO	1075.00	445.30	58.58
DBO	386.80	165.70	57.16
SST	812.00	306.90	62.20
SSV	698.10	273.00	60.89

Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Resultados de salida del reactor de lodos activados.



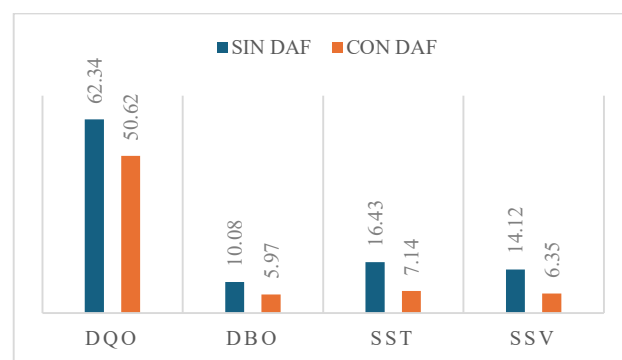
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65. Comparación de valores que salen del sedimentador secundario.

Parámetros	SIN DAF	CON DAF	% de mejora
DQO	62.34	50.62	18.80
DBO	10.08	5.97	40.81
SST	16.43	7.14	56.56
SSV	14.12	6.35	55.04

Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. Resultados de salida del sedimentador secundario.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. Conclusiones.

- El análisis realizado permitió evidenciar que la variación en la concentración de grasas y aceites en el afluente de la PTAR San Blas influye de manera significativa en la eficiencia de los procesos biológicos de remoción de materia orgánica posteriores al pretratamiento. Se comprobó que, a medida que aumenta la carga de grasas y aceites, se reduce la estabilidad del sistema, generando problemas operativos y una disminución en la calidad del efluente tratado. Con base en esta evaluación, se diseñó un componente para la remoción de grasas y aceites en exceso, el cual se constituye en una alternativa técnica viable para optimizar el desempeño del sistema de tratamiento además se demostró mediante software que mejora la calidad del efluente obteniendo un nuevo porcentaje de remoción en SST en el sedimentador primario de 89.77% frente al 80.15% actual mejorando los procesos que ocurren después y el efluente final.
- Tras un análisis comparativo de diferentes plataformas de modelación, se concluyó que GPS-X resulta el software más adecuado para la simulación de la PTAR San Blas, debido a su capacidad de representar con precisión los procesos involucrados en el tratamiento de aguas residuales, su amplia validación internacional y la posibilidad de utilizar valores de una modelación ya realizada en la PTAR San Blas. En cuanto a la simulación de un parámetro en particular ningún programa puede simular la variación de grasas y aceites específicamente sino que realizan la modelación de los procesos de las plantas de tratamiento basándose en los principales parámetros contaminantes como ser DBO, DQO y SST de los cuales se derivan los demás parámetros.
- Los resultados obtenidos en el laboratorio confirmaron que la concentración de grasas y aceites en el afluente presenta variaciones considerables, alcanzando valores que superan los límites permisibles en determinadas jornadas. Este comportamiento confirma la intermitencia de las descargas y justifica la necesidad de contar con un

sistema de remoción especializado que mitigue dichas fluctuaciones y reduzca el impacto sobre los procesos posteriores.

- Se realizó la propuesta de un diseño un sistema de flotación por aire disuelto con una relación de Aire/solidos de 0.060787 g/g con dimensiones de 7.9 m de largo. 2.8 m de ancho y 2.7 m de alto. que consigue remover hasta un 62.01% de SST que coincide con lo que se presenta en la bibliografía y en otros estudios similares. El dimensionamiento realizado en GPS-X permitió proyectar un sistema desengrasador eficiente. capaz de reducir significativamente las concentraciones de grasas y aceites en el afluente. con lo cual se incrementa la eficiencia global de la planta y se asegura un efluente con mejores características de calidad.
- Se realizó una verificación del funcionamiento del sistema de flotación para condiciones actuales de funcionamiento en la PTAR de la cual se obtuvieron nuevos valores de remoción: para el sedimentador primario los valores de SST de salida mejoraron de 82.16 mg/L a 42.36 mg/L lo que corresponde a un valor de 48.44% de mejoría y el efluente mejoró en SST con valores de 16.43 mg/L a 7.14 mg/L representando un porcentaje de 56.56%. lo cual asegura que el reactor de lodos activados consuma menos OD y por consiguiente menor costo en consumo eléctrico lo cual justifica su implementación y mejora la sostenibilidad en el tiempo de la PTAR.

5.2. Recomendaciones.

- Se recomienda la construcción e instalación del sistema de flotación por aire disuelto diseñado, con el fin de garantizar la remoción eficiente de grasas, aceites y sólidos suspendidos en la PTAR de San Blas, asegurando el cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos en la normativa ambiental vigente.
- Realizar estudios piloto o pruebas a escala reducida antes de la implementación total del sistema de flotación, lo que permitirá ajustar parámetros de diseño como el caudal de recirculación y la presión de operación, según las condiciones reales del afluente y mejorar la precisión del diseño final.
- Como se puede observar existe una diferencia notable en el comportamiento de la materia orgánica en el reactor aerobio con la instalación del sistema de flotación, por lo tanto, se recomienda ajustar los valores de operación y verificar aprovechar esa reducción de consumo de oxígeno disuelto para de esa manera reducir el consumo de energía eléctrica (en caso de que se instale).
- El estudio se centró principalmente en grasas, aceites y sólidos suspendidos. Se sugiere incluir en futuras investigaciones parámetros como DQO, DBO5, fósforo y nitrógeno, con el fin de evaluar integralmente la influencia del sistema de flotación en la calidad del efluente.
- El presente trabajo consideró principalmente el diseño del componente para la remoción de grasas y aceites. Se recomienda que estudios posteriores evalúen alternativas de disposición y/o aprovechamiento de los residuos grasos generados, como su uso potencial en procesos de biodiésel o Codigestión anaerobia.
- Aunque se elaboró un plan de operación detallado, se recomienda complementarlo con programas de capacitación dirigidos al personal operativo, y con la elaboración de protocolos de seguridad e higiene específicos para la manipulación de residuos grasos y equipos bajo presión.