Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento de Agricultura

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA REVALORIZACIÓN DE LAS AGUAS DEL LAVADO DE LOS FILTROS DE LA PISCINA DEL COLEGIO CALASANZ-LEÓN, NICARAGUA

Trabajo Monográfico para optar al título de

Ingeniero Químico

Elaborado por:

Br. LENIA PATRICIA VELÁSQUEZ LÓPEZ
2020-0840U

Br. KEVIN DE JESÚS RAMÍREZ CÓRDOBA
2020-0836U

Tutor

MSc. ING. XOCHILT YAOSCA BARAHONA SILVA

10 de septiembre de 2026

Managua, Nicaragua

Managua, 30 de agosto de 2026

Director MGPD Silvano Enrique Cruz Sánchez

Área de Conocimiento de Agricultura

UNI

Estimado MGPD. Silvano Cruz:

Por este medio le comunico que he concluido con la revisión del **Proyecto de Graduación**, realizado para optar al título de **Ingeniero Químico**, titulado:

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA REVALORIZACIÓN DE LAS AGUAS DEL LAVADO DE LOS FILTROS DE LA PISCINA DEL COLEGIO CALASANZ-LEÓN, NICARAGUA, elaborado por los bachilleres **Lenia Patricia Velásquez López (2020-0840U)**, y **Kevin de Jesús Ramírez Córdoba (2020-0836U)**. Además, el documento cumple con los requerimientos técnicos establecidos por el programa académico de Ingeniería Química. Por tanto, doy mi visto bueno para su respectiva presentación.

Anuente a su aprobación para que los bachilleres arriba mencionados procedan a realizar la defensa del mismo, me despido.

Atentamente,

MSc. Xochilt Yaosca Barahona Silva

Coordinación de Laboratorios Ambientales. UNI-CISA

Tutor(a)

Universidad Nacional de Ingeniería
Área de Conocimiento de Agricultura
Formas de Culminación de Estudios

REF.DACA.FCE.375.2025
Managua, 27 de octubre del 2025

Bachilleres

LENIA PATRICIA VELÁSQUEZ LÓPEZ / 2020-0840U
KEVIN DE JESÚS RAMÍREZ CÓRDOBA / 2020-0836U

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema **MONOGRÁFICO**, titulado: **"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA REVALORIZACIÓN DE LAS AGUAS DEL LAVADO DE LOS FILTROS DE LA PISCINA DEL COLEGIO CALASANZ-LEÓN, NICARAGUA"**. Ha sido aprobado por el Director de Área de Conocimiento de Agricultura.

Asimismo, le comunico estar totalmente de acuerdo, que la **MSc. Xochilt Yaosca Barahona Silva** sea la tutora de su trabajo final.

La fecha límite, para que presente concluido su documento final, debidamente revisado por el tutor guía será el **27 de abril del 2026.**

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,

MSc. José Marberto Méndez Ubeda
Director de Área de Conocimiento de Agricultura
DACA

28/10/25

MSc. Xochilt Yaosca Barahona Silva / Tutor
MSc. Helia Vanessa Taleno Oporta / Secretaria Académica DACA

C/c: Archivo

AGRADECIMIENTOS

Mi total gratitud a Dios todo poderoso, por haberme acompañado en el camino de mi etapa universitaria y por su constante presencia. Asimismo, le agradezco por poner en vida a aquellas personas que han sido mi soporte y guía durante todo este periodo de estudio.

A mis padres, quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: amor y comprensión. Sirva este logro como testimonio del cariño y eterno agradecimiento por la vida, los valores y formación profesional. Porque han sacrificado parte de sus vidas para formarme; sé que nunca podré pagar todos sus desvelos, ni aún con toda la riqueza del mundo. ¡Por lo que soy y por todo el tiempo que les arrebaté pensando en mí, por esto y más, gracias!

A mis queridos compañeros de desvelos, mis mascotas, amigos y compañeros de vida, Peter y Maximiliano. Porque en cada noche interminable de estudio, cuando el cansancio me vencía y la motivación desvanecía, ahí estaban ellos, con su silenciosa presencia, sus pequeños gestos de compañías. Son los únicos seres en la tierra que me han demostrado cuanto me aman sin decir "te amo". Los adoro…

Lenia Patricia Velásquez López

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco enormemente a Dios por haberme dado la salud, la fortaleza, la paciencia y el entendimiento necesario para poder concluir con éxito esta etapa de mi formación profesional.

A mi mamá, Salvadora, por ser mi guía en los momentos más grises y a la que siempre le estaré eternamente agradecido por apoyarme y darme las herramientas necesarias para culminar este camino.

A mis hermanos, Josué y Katherine, a mis abuelos, en especial a mi mamita Sofía y resto de familiares por ser parte de mi proceso y porque de alguna u otra forma siempre me tendieron la mano en la medida de sus posibilidades, les estaré agradecido mucho.

Al Centro de Investigación para la Sostenibilidad Ambiental (CISA), por haberme permitido realizar pasantías en sus instalaciones y así completar la fase experimental de mi proyecto. Así mismo, agradezco a mi tutora MSc. Ing. Xochilt Barahona por contribuir con los temas logísticos y estar presente en cada etapa de esta monografía.

Y finalmente, a mis amigos, en especial a la Lic. Victoria Meléndez, la Ing. Yoandy Monterrey, la Ing. Pamela Téllez, la Ing. Kimberly Calero, el Ing. Sergio Bustamante, el Lic. José Carlos Rueda y el Ing. Pedro Sirias, por ser parte de este proceso.

Kevin de Jesús Ramírez Córdoba

DEDICATORIA

***A DIOS*:**

Porque de Él y por Él, para Él, son todas las cosas.

A Él sea la gloria por los siglos.

***Amén*.**

Lenia Patricia Velásquez López

DEDICATORIA

A Dios por sostenerme durante todos estos años de mi vida.

Con todo mi corazón le dedico este trabajo a mi madre, Salvadora Córdoba, por ser la mejor mamá que Dios me pudo haber dado, sin ella y su sacrificio constante no creo haber podido llegar hasta este punto.

A todas las personas que en algún momento de su vida dudaron de sus capacidades, sin embargo, lograron derribar los muros de la incertidumbre y salieron adelante.

Y a mí, porque aunque la vida no fue fácil y el camino era inestable, logré culminar esta etapa de mi vida con la mejor disposición posible; aceptando lo bueno que llegó a mi vida y lo malo que no pude cambiar, pero que me enseñó a crecer y aprender de ello.

Kevin de Jesús Ramírez Córdoba

RESUMEN

La investigación se centra en la gestión del agua de retrolavado proveniente de los filtros de la piscina del Colegio Calasanz, ubicado en el departamento de León. Actualmente, este efluente, que contiene residuos del mantenimiento y uso de la piscina, se vierte directamente al sistema de alcantarillado sanitario sin tratamiento previo. En el contexto de la crisis hídrica global y la necesidad de modelos sostenibles, el estudio plantea tratar esta agua para su reutilización como agua de riego de zonas verdes reduciendo la huella hídrica de la institución.

Se realizó una caracterización detallada del efluente, dividiendo el proceso de retrolavado en cuatro fases; fase 1, fase 2, fase 3 y fase 4, las cuales fueron esenciales para identificar los puntos de mayor carga contaminante en el proceso de retrolavado. Los resultados mostraron que la Fase 2 presentó los niveles más críticos, con picos de turbidez de hasta 658 UNT y detectando la presencia de Escherichia coli y huevos de helmintos. Los valores promedio de turbidez (176.20 UNT) y DBO_5 (29.06 mg/L) exceden los límites establecidos por la norma NTON 05 027-05 para el reúso urbano de agua, confirmando que el agua no puede ser reutilizada sin un tratamiento previo.

Para dar cumplimiento a la normativa, se diseñó un sistema de tratamiento basado en principios de ingeniería química e hidráulica. Este consta de un hidrociclón que actúa como filtro sedimentador las partículas sólidas y de un tanque de regulación tipo Batch, con capacidad para un caudal medio de 0.711 m^3/día y un caudal máximo de 0.788 m^3/día. El modelo de operación por lotes funciona como tanque de almacenamiento adaptándose a la frecuencia de los retrolavados. El cálculo del caudal de salida y del área transversal permitió obtener una tubería de descarga de aproximadamente 2.21 pulgadas donde se eligió una tubería comercial con un diámetro nominal de 2 ½ pulgadas, dimensionada para controlar la salida del agua tras un tiempo de retención determinado. Además, el sistema consta de una bomba de succión que está conectada a la tubería de descarga, la cual se encargará de distribuir el agua del tanque de almacenamiento.

El sistema propuesto constituye una alternativa técnica de fácil operación. Se concluye que, mediante este proceso de sedimentación controlada es posible remover gran parte de los sólidos y la turbidez, transformando un residuo líquido en un recurso valioso para el riego u otro tipo de actividad. Esto solución no solo garantiza el cumplimiento de las normativas ambientales y sanitarias vigentes en Nicaragua, sino que también promueve una cultura institucional de ahorro y sostenibilidad dentro de la comunidad educativa del Colegio Calasanz.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS I

DEDICATORIA III

RESUMEN V

I. INTRODUCCIÓN 1

II. OBJETIVOS 2

2.1. Objetivo General 2

2.2. Objetivos Específicos 2

III. MARCO TEÓRICO 3

3.1. Generalidades de las piscinas 3

3.1.1. Tipos de piscinas 3

3.1.2. Tipos de filtros para piscinas 3

3.2. Proceso de retrolavado 4

3.3. Tiempo y frecuencia de retrolavado 4

3.4. Características físicas del agua de lavado de los filtros de piscinas 4

3.4.1. Temperatura 4

3.4.2. Turbiedad 5

3.4.3. Sólidos Suspendidos Totales 5

3.4.4. Color 5

3.4.5. Olor 5

3.4.6. Espuma 6

3.4.7. Materia Flotante 6

3.5. Características químicas del agua de lavado de los filtros de piscinas 6

3.5.1. pH 6

3.5.2. Demanda Bioquímica de Oxigeno 7
3.5.3. Aceites y Grasa Flotante 7
3.5.4. Hierro 8
3.5.5. Cloro Residual 8
3.6. Características microbiológicas del agua de lavado de los filtros de piscinas 8
3.6.1. Coliformes Totales 8
3.6.2. Coliformes Fecales o Termotolerantes 8
3.6.3. Huevos de Helmintos 9
3.7. Impactos ambientales de las aguas proveniente del lavado de los filtros de piscinas 9
3.8. Efectos en la salud de las aguas provenientes del lavado de los filtros de piscinas 9
3.9. Tratamiento de aguas residuales de los retrolavados de los filtros de piscina 10
3.10. Etapas de un sistema de tratamiento de aguas residuales de los retrolavados de los filtros de piscinas 10
3.10.1. Filtro Hidrociclón 11
3.10.2. Tanque de Regulación 12
3.10.3. Equipos Auxiliares 13
3.11. Principios de diseño, operación y mantenimiento de un sistema de tratamiento de agua residual 13
3.12. Revalorización del agua de lavado de los filtros de piscinas 14
3.13. Marco regulatorio 15
IV. METODOLOGÍA 16
4.1. Tipo de Investigación 16

4.2. Ubicación de Estudio 16
4.2.1. Macrolocalización 16
4.2.2. Microlocalización 16
4.3. Proyección poblacional 17
4.4. Caracterización de la piscina estudiada 17
4.5. Recolección de muestras de agua procedente de los lavados de los filtros de la piscina 18
4.6. Métodos y herramientas de medición para el análisis de los parámetros de calidad del agua de lavado de los filtros de la piscina 20
4.7. Determinación del Caudal Actual 21
4.8. Interpretación de Resultados 22
V. RESULTADOS Y DISCUCIÓN 26
5.1. Determinación de la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de lavado de los filtros de la piscina del colegio Calasanz-León 26
5.2. Comparación de los resultados obtenidos con la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON) 05 027-05 para agua de reúso de tipo urbano 27
5.3. Planteamiento del sistema de tratamiento de agua residual para el agua de lavado de los filtros de la piscina, aplicando criterios técnicos y ambientales 28
5.3.1. Determinación de Caudales actuales 28
5.3.2. Determinación de Caudales de Diseño 29
5.3.3. Sistema de Tratamiento de Agua Residual seleccionado 29
5.3.4. Dimensionamiento del sistema de tratamiento propuesto 32
5.4. Diseño conceptual del sistema de tratamiento, procedimientos de operación y plan de mantenimiento 34

VI. CONCLUSIONES 37
VII. RECOMENDACIONES 38
VIII. BIBLIOGRAFÍA 39
IX. ANEXOS 44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de Diseño de Hidrociclones de entrada Tangencial 11
Tabla 2. Límites Máximos para Aguas Residuales de Reúso 15
Tabla 3. Métodos para el análisis en el laboratorio de muestras de agua de lavado de los filtros de la piscina 20
Tabla 4. Concentración de los parámetros físico-químicos del agua residual del retrolavado 26
Tabla 5. Comparación del promedio de las fases respecto a la NTON 05 027-05 27
Tabla 6. Caudales actuales para cada fase determinados en campo..... 28
Tabla 7. Caudales Actuales y Caudales de Diseño 29
Tabla 8. Porcentajes de remoción en las etapas del Sistema de Tratamiento ... 30
Tabla 9. Cantidad removida y sin remover de los parámetros de estudio que no cumplen con NTON 05 027-05 para el Filtro Hidrociclón..... 30
Tabla 10. Cantidad removida y sin remover de los parámetros de estudio que no cumplen con NTON 05 027-05 para el Tanque de Regulación..... 31
Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos en el efluente y su comparación con NTON 05 027-05..... 31
Tabla 12. Especificaciones técnicas del filtro hidrociclón 32
Tabla 13. Dimensiones del Tanque de Regulación..... 33
Tabla 14. Plan de mantenimiento de los equipos y accesorios..... 36
Tabla 15. Matriz de cálculo de la bomba..... 53
Tabla 16. Valores obtenidos en gráficas 55
Tabla 17. Valores para determinar $NPSH_A$ 56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principio de funcionamiento de un hidrociclón..... 12
Figura 2. A) Macrolocalización y B) Microlocalización del Colegio Calasanz de León, Nicaragua. 17
Figura 3. A) Piscina del Colegio Calasanz y B) Filtro de arena de la piscina 18
Figura 4. A) Medición de pH; B) Temperatura ºC y C) Cloro Residual 19
Figura 5. Recolección y preservación de muestras de agua residual del retrolavado del filtro de la piscina. A) Recolección de muestras; B) Vertido de muestras en los recipientes plásticos y C) Preservación térmica de las muestras 19
Figura 6. Canal de salida del agua del retrolavado del filtro de la piscina 22
Figura 7. Caudales actuales determinados en campo..... 28
Figura 8. Diagrama de Flujo de Procesos (PFD) 35
Figura 9. Plano del Filtro Hidrociclón..... 44
Figura 10. Plano del Tanque de Regulación 45
Figura 11. Plano del Sistema de Tratamiento 46
Figura 12. Tuberías Durman..... 52
Figura 13. Diagrama de calificación compuesta para una línea de bombas centrifugas 54
Figura 14. Curvas específicas de la familia de bombas 32-125.1..... 55

I. INTRODUCCIÓN

En un contexto donde la gestión sostenible del agua es un requisito indispensable, aproximadamente el 80% de las aguas residuales a nivel mundial se vierten al medio ambiente sin tratamiento previo (Yalin, et al., 2023). El rechazo cultural por falta de información y la falta de inversión en infraestructura para el reúso de aguas residuales tratadas, no solo perpetúan un ciclo de desperdicio, sino que también imponen una carga innecesaria sobre los sistemas de suministro de agua potable (Silva, 2023).

En Nicaragua, esta problemática se refleja en el vertido de efluentes no valorizados a los cuerpos de agua, incluyendo los generados por el lavado de filtros de piscinas, el cual es un proceso esencial para garantizar la calidad del agua y el correcto funcionamiento del sistema de filtrado. No obstante, esta etapa genera una significativa cantidad de agua residual que, en la mayoría de los casos, es desechada sin ningún tipo de tratamiento ni aprovechamiento, lo que representa una pérdida de un recurso cada vez más escaso y valioso.

A nivel internacional, estudios demuestran la viabilidad de recuperar este recurso: mediante técnicas como la clarificación con Moringa oleifera para reúso agrícola (Coelho Pereira, 2018) o sistemas de tratamiento avanzados capaces de recuperar hasta el 96% del agua (Studziński et al., 2021). Esto resulta crucial considerando que el retrolavado en piscinas públicas genera pérdidas de millones de metros cúbicos anuales (Doménech-Sánchez et al., 2021), representando elevados costos de suministro y vertido para los propietarios (Wyczarska & Dudziak, 2022).

Frente a esta situación, la presente investigación aborda el caso del Colegio Calasanz en León, Nicaragua, cuyo efluente de lavado de filtros a presión es vertido al alcantarillado público sin tratamiento ni aprovechamiento. El objetivo del estudio es diseñar un sistema de tratamiento que permita la revalorización de dicho efluente para el riego de zonas verdes. Para ello, se realizará una caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual, cuyos parámetros se compararán con la norma nacional NTON 05 027-05 para Reúso Urbano (Tipo 2), finalizando con el diseño conceptual y los procedimientos de operación y mantenimiento.

Esta propuesta no solo busca mitigar el impacto ambiental y optimizar costos operativos, sino que se fundamenta en los ejes socioambientales del Plan Nacional de Lucha Contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano (PNLCP-DH 2022-2026), priorizando la gestión integral de los recursos hídricos y la protección ambiental e impulsando la economía circular y la gestión integral del agua en el país.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Proponer el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual para la revalorización del agua de lavado de los filtros de la piscina del colegio Calasanz-León.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de lavado de los filtros de la piscina del colegio Calasanz-León.
- Comparar la concentración de los parámetros obtenidos con los valores establecidos en la NTON 05 027-05 para agua de reúso de tipo urbano.
- Plantear un sistema de tratamiento de agua residual para el agua de lavado de los filtros aplicando criterios técnicos y ambientales.
- Establecer el diseño conceptual del sistema de tratamiento de agua residual con sus procedimientos de operación y mantenimiento.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Generalidades de las piscinas

Ministerio de Salud (2011), consideran que las piscinas son estanques artificiales o parcialmente artificiales destinados al baño recreativo o deportivo, el cual su uso supone un contacto primario y colectivo con está, así como con los equipamientos e instalaciones necesarias que garantizan su funcionamiento.

3.1.1. Tipos de piscinas

Las piscinas, según la OMS (2006) pueden dotarse de agua dulce (superficial o subterránea), marina o termal (termales naturales), estás pueden ser domésticas (privados), semipúblicos (hoteles, escuelas, complejos de vivienda) o públicos (municipales) pueden ser supervisadas o no supervisadas, pueden estar ubicadas en el interior, al aire libre o en ambas, pueden estar calentadas o sin calentar.

En cuanto a estructura, la piscina convencional es denominada piscina principal, pública o municipal, tradicionalmente rectangular, sin características de aguas adicionales, y es utilizada por personas de todas las edades y habilidades. También existen piscinas temporales o portátiles, suelen ser utilizadas con mayor frecuencia en el ámbito doméstico. Igualmente, existen piscinas especializadas para un tipo de usuario; por ejemplo, piscinas infantiles, piscinas de aprendizaje o de enseñanza, piscina para clavados y piscina con características especiales como canales o toboganes de agua (World Health Organization, 2006).

3.1.2. Tipos de filtros para piscinas

Los filtros de las piscinas son los encargados de recircular continuamente el agua de la misma para evitar que esta se estanque y se promueva la proliferación de algas y otros microrganismos patógenos que afecten tanto la calidad del agua como la salud de las personas que hagan uso de la piscina. Por otra parte, los filtros purifican el agua de la piscina y permiten que esta esté sana y cristalina al reducir la necesidad de utilizar exceso de productos químicos para su desinfección (Ramos, 2025).

Los filtros para piscinas se clasifican por su composición de materiales, es decir, por la parte interna de los filtros y la que es responsable de filtrar el agua.

- Filtros de arena

Los filtros de arena están compuestos principalmente por arena de sílice y son los más ampliamente utilizados por ser económicos y su efectividad en la de remoción de impurezas y partículas en el agua. Los filtros de arena usan una válvula selectora (filtración, lavado, enjuague, recirculación, vaciado, cerrado). No obstante, debido a la porosidad de la arena de sílice, estos filtros están expuestos a acumular gran cantidad de materia orgánica y grasa, lo que puede llegar a reducir su efectividad con el tiempo (Ramos, 2025).

- Filtros de cartucho

Los filtros de cartucho son una opción muy utilizada en piscinas debido a su alto rendimiento y sencillo mantenimiento. Funcionan mediante un cartucho intercambiable que actúa como medio filtrante, permitiendo una limpieza eficaz del agua con poco esfuerzo. Su operación se basa en este elemento, que constituye el componente principal del sistema de filtración (Ruiz, 2024).

- Filtros de Diatomeas (DE)

Un filtro de diatomeas es un sistema de filtración para piscinas que utiliza un polvo muy fino hecho de restos fósiles de algas microscópicas llamadas diatomeas como medio filtrante. Este tipo de filtro funciona recubriendo unas rejillas internas con ese polvo. Cuando el agua de la piscina pasa a través del filtro, las partículas más pequeñas (como polvo, algas o suciedad microscópica) quedan atrapadas en la capa de diatomeas, logrando una filtración muy fina y eficiente, superior a la de los filtros de arena o cartucho (Ramos, 2025).

3.2. Proceso de retrolavado

El retrolavado es un procedimiento de limpieza en el que el agua fluye en sentido inverso a través del filtro de la piscina para eliminar la suciedad, los sedimentos y los residuos acumulados en el medio filtrante. Al invertir el flujo de agua, los residuos atrapados en el filtro se eliminan eficazmente (SERA POOL, 2023).

Este procedimiento evita la obstrucción al eliminar los sedimentos y residuos que se acumulan en el filtro. Garantizando una correcta recirculación del agua y mejora el rendimiento del filtro.

3.3. Tiempo y frecuencia de retrolavado

El tiempo estándar para el retrolavado del filtro de una piscina oscila de entre 3 a 5 minutos, aunque el indicador más preciso es el estado del agua en el visor del filtro. Por otra parte, la frecuencia de retrolavado no debe hacerse por calendario, es decir, por días determinados; sino más bien por la presión expresada en el manómetro. El momento ideal es cuando el manómetro indica un aumento de entre 8 y 10 PSI (aproximadamente 0.5-0.7 bar) sobre la presión base de funcionamiento (presión expresada en el manómetro cuando el filtro está recién limpio (AstralPool, 2021).

3.4. Características físicas del agua de lavado de los filtros de piscinas

3.4.1. Temperatura

La temperatura es un indicador ajustable que influye en las características del agua, las operaciones y procesos de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales, así como su disposición final.

La temperatura afecta y altera directamente la vida acuática, modificando la concentración de la saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacteriana. La temperatura óptima para la actividad bacteriana es de 25 a 35 ˚C. La digestión aeróbica y la nitrificación se

suspenden cuando la temperatura alcanza los 50˚C. Cuando la temperatura es menor de 15 la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar (Romero Rojas, 1999).

3.4.2. Turbiedad

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz del agua, es un parámetro que se emplea como indicador de la calidad de las aguas. La turbidez es causada por materia suspendida y coloidal como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos (C. Lipps, Braun-Howland, & E. Baxter, 2023).

La turbidez se determina mediante la luz que se dispersa y absorbe en lugar de trasmitirse sin cambios en la dirección o el nivel de flujo a través de la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones (C. Lipp et al., 2023).

3.4.3. Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos suspendidos totales en las aguas residuales incluyen tanto la materia orgánica e inorgánica, como materia fecal, residuos de alimentos, papel y microplásticos que se encuentran en suspensión. En los sistemas de tratamiento estos pueden causar obstrucciones en las tuberías y deficiencia operativas en las plantas. Este parámetro garantiza la eficiencia de remoción de partículas sólidas en suspensión en los procesos de tratamiento, promoviendo el vertido de aguas residuales seguras al medio receptor (Watertest Systems , 2025).

3.4.4. Color

El color en las aguas residuales indica el origen de la polución, así como el buen estado o deterioro de los procesos de tratamiento. Este fenómeno se debe por las partículas en suspensión, específicamente las partículas de tamaño coloidal, además, de los colorantes, ligninas, taninos, productos químicos orgánicos e inorgánicos (C. Lipp et al., 2023).

3.4.5. Olor

El olor en las aguas residuales es el resultado de las combinaciones de compuestos orgánicos e inorgánicos en descomposición. Este es característico y puede variar su intensidad según los productos utilizados para su tratamiento y el estado en el que se encuentre el sistema de tratamiento.

En las piscinas el mal olor, podría originarse por la acumulación de sustancias orgánicas como el sudor, saliva, orina, materia vegetal, así como desinfectante o sus productos (C. Lipp et al., 2023).

Romero Rojas (1999), menciona algunos de los problemas más comunes por los olores ofensivos:

- Pérdida de apetito por los alimentos

- Menor consumo de agua
- Dificultades respiratorias
- Náuseas
- Perturbaciones mentales
- Perdida del valor de la propiedad y del potencial de su desarrollo.

3.4.6. Espuma

Las espumas son un conjunto de burbujas estables, producidas cuando el aire y otros gases se introducen bajo la superficie del líquido que se expande para encerrar el gas en una película llamada “laminillas”. La formación se debe por la presencia de componentes tensioactivos o surfactantes en el líquido, así como también una alta carga de materia orgánica, debido a que estas sustancias se depositan en las interfaces entre el gas y el líquido, ocasionando reducción en la tensión superficial (Collivignarelli, y otros, 2020).

Collivignarelli, el at. (2020), menciona que la formación de espumas persistente pueden ser un problema crítico en algunos equipos de sistemas de tratamiento, ya que conduce a problemas operativos tales como:

- Reducción de la transferencia de oxígeno.
- Disminución en la concentración de biomasa en los reactores biológicos.
- Problemas de olores.
- Aumento de los costos de gestión y mantenimiento de los equipos.

En el caso del personal que labora en dicha planta, la producción de espuma en grandes volúmenes puede ocasionar problemas físicos debido a la exposición de patógenos, obstrucción de los pasillos y superficies resbaladizas que pueden ocasionar caídas.

3.4.7. Materia Flotante

La materia flotante en las aguas residuales se refiere a todo aquel material que, por su menor densidad, se mantiene en la superficie y son visibles. Es considerado como indicador de contaminación que altera la biodiversidad de los cuerpos receptoras (C. Lipp et al., 2023).

Además de ser un indicador que determina la eficiencia del sistema de tratamiento, es decir, que las primeras etapas del sistema de tratamiento que se encargan de remover los sólidos gruesos y materia flotante no están cumpliendo con su función, lo que, a su vez, puede provocar problemas operativos, como la obstrucción de los equipos e interferencia con los procesos biológicos (C. Lipp et al., 2023).

3.5. Características químicas del agua de lavado de los filtros de piscinas

3.5.1. pH

El pH indica cuán ácida o alcalina es el agua. De acuerdo con, Romero Rojas (1999), es una medida de la concentracion de ion hidrógeno en el agua, expresada

como el logaritmo negativo de la concentracion molar de ion de hidrógeno (-log $[H^+]$).

En las instalacione acuáticas el pH debe mantenerse dentro del rango estipulado, este parametro es un indicador del correcto funcionamiento del sistema de tratamiento, especificamente en los procesoso de desinfección y caogulación. Si el pH es alto, se puede reducir añadiendo ácidos fuertes como el ácido clorhídrico (muriático) o el biosulfato de sodio (ácido seco). Si esté es bajo, se puede usar carbonato de sodio para elevar rápidamente (Queensland Health, 2019). Es importante mencionar, que si aumentamos el pH la alcalinidad total aumenta, de igual menera si disminuye pH la alcalinidad total disminuye.

3.5.2. Demanda Bioquímica de Oxigeno

La demanda bioquímica de oxígeno como indicador crítico del rendimiento general de la planta, confirmando si se ha logrado la depuración necesaria para cumplir con la normativa ambiental de descarga. Esta cuantifica la cantidad de oxígeno disuelto requerida por los microorganismos aerobios para oxidar la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua bajo condiciones específicas de tiempo y temperatura, normalmente, durante cincos días a 20 °C (C. Lipp et al., 2023).

La tasa de consumo de oxígeno depende de algunas características como temperatura, pH, tipo de microorganismos y material orgánico en la muestra (Rua, 2021).

Entre mayor sea la DBO en un cuerpo de agua dado, menor es el oxígeno disponible para las formas de vida acuática y, en general, es un indicador para evaluar la carga orgánica liberada a los recursos hídricos o para verificar la eficiencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales, al comparar la DBO de las aguas residuales sin tratar y el efluente final (Rua, 2021).

3.5.3. Aceites y Grasa Flotante

Los aceites y grasas flotantes (AGF), son compuestos orgánicos de origen lipídicos o hidrocarburos, debido a su característica de insolubilidad en el agua, tienden acumularse en la superficie de los cuerpos de agua y sistemas acuosos.

En el ámbito de calidad de las aguas residuales, no solamente se determina aceites y grasas flotante sino también varias sustancias orgánicas solubles en un solvente orgánico especifico bajo condiciones de pruebas definidas. El método aceites y grasas flotantes en triclorotrifluoroetano pretende medir tanto la porción que flota como la que se adhiere a las superficies del recipiente de la muestra, esto quiere decir, que asume que una parte significativa de la porción adherente flotaría en condiciones ambientales reales (C. Lipp et al., 2023).

A continuación, se mencionan los problemas generados por la acumulación de aceites y grasas flotantes en cuerpos receptores:

- Reducción de la transferencia de oxígeno.

- Toxicidad y bioacumulación.
- Estética y olores.
- En los procesos de tratamiento:
    - Reduce la eficiencia de la decantación primaria.
    - Incremento de los costos operativos: mayor consumo de energía.

3.5.4. Hierro

El hierro puede presentarse en diversas formas en el agua, como ferroso, férrico, disuelto y suspendido, por lo que determinar hierro total es necesario de un proceso de digestión. Por el método de fenantrolina, el hierro se disuelve, reduciendo el estado ferroso por ebullición con ácido e hidroxilamina y se trata con 1,10-fenantrolina a pH de 3.2 a 3.3. El color rojo-naranja que se forma es un quelato de tres moléculas de fenantrolina por cada átomo de hierro ferroso, esta solución coloreada obedece la ley de Beer (C. Lipp et al., 2023).

3.5.5. Cloro Residual

El cloro residual se define como la cantidad de cloro que queda en el agua después de terminar el proceso de desinfección. Tiene como objetivo prevenir la contaminación del agua durante la distribución y el almacenamiento (FUJIFILM , 2023).

Los altos niveles de cloro residual pueden generar los problemas para la industria del agua, incluyendo la formación de trihalometanos debido a la contaminación de cloro y materia orgánica. La formación de trihalometanos es responsable del sabor y olor del agua tratada, de acuerdo a estudios epidemiológicos puede ser cancerígena (Charmain & Handley, 2003).

3.6. Características microbiológicas del agua de lavado de los filtros de piscinas

Las aguas residuales contienen diversos microorganismos patógenos como bacterias, hongos y helmintos portadores de muchas enfermedades para salud, cuando estos indicadores de calidad del agua no son controlados adecuadamente. En este apartado se describen algunos de los indicares de calidad del agua residual de lavado de los filtros de piscina.

3.6.1. Coliformes Totales

El grupo de microorganismos coliformes como indicador de contaminación fecal debido a que estos forman parte del microbiota normal del tracto gastrointestinal, tanto del ser humano como de los animales homeotermos y están presentes en grandes cantidades en él. Los microorganismos coliformes constituyen un grupo heterogéneo de amplia diversidad en términos de género y especie. Todos los coliformes pertenecen a la familia Enterobacteriaceae (Larrea et al., 2013).

3.6.2. Coliformes Fecales o Termotolerantes

Los coliformes termotolerantes (CTE), denominados así porque soportan temperaturas hasta de 45 °C, comprenden un número muy reducido de microorganismos. En su mayoría están representados por E. coli, pero se pueden

encontrar de forma menos frecuente las especies Citrobacter freundii y Klebsiella pneumoniae. Estas últimas forman parte de los coliformes termo tolerantes, pero su origen normalmente es ambiental (fuentes de agua, vegetación y suelos) y solo ocasionalmente forman parte del microbiota normal (Larrea et al., 2013).

3.6.3. Huevos de Helmintos

Los helmintos son grandes macro parásitos o gusanos parásitos pluricelulares que se encuentran o transmiten a través de aguas residuales, lodos, excretas y suelo.

Se clasifican por cuerpos alargados, planos o redondos (Mahapatra, Hibzur , Samal, & Moulick, 2022).

Los huevos de helminto son considerados una de las preocupaciones para reutilizar las aguas residuales en los procesos de agricultura y acuicultura. Estos parásitos biológicos migran dentro suelo y propagan infecciones rápidamente. La presencia de estos depende de las condiciones climáticas circundantes, como la temperatura y la humedad (Mahapatra et al., 2022).

3.7. Impactos ambientales de las aguas proveniente del lavado de los filtros de piscinas

El agua resultante del lavado de los filtros de las piscinas, al ser vertidas sin un tratamiento previo representan una fuente grave de contaminación física, química y microbiológica. Estas aguas crudas contienen altas cargas de contaminantes como los sólidos en suspensión, compuestos antropogénicos (excreciones corporales, cosméticos de uso personal) y subproductos de la desinfección que se forman cuando los desinfectantes utilizados reaccionan con materia orgánica e inorgánica de la piscina (Lempart, Kudlek, Dudziak, & Zawadzka, 2018).

Durante el proceso de filtración, estos contaminates se acumulan en los filtros, que al ser lavados, son liberados al medio. Lempart et al. (2018), señalan que estas aguas presentan altas concentraciones de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), turbidez y sólidos suspendidos, los cuales alteran el equilibrio químico de los cuerpos receptores, afectando el pH y conductividad eléctrica del agua. Lo que conlleva a una reacción en cadena, debido a que las cargas orgánicas y los nutrientes pueden contribuir a la eutrofización alterando el equilibrio ecológico del medio receptor.

Estas descargas, al no ser reguladas, también pueden contaminar acuíferos subterráneos si se infiltran en suelos permeables. La gestión inadecuada representa no solo una pérdida de recursos hídricos, sino también una amenaza para la biodiversidad y la salud pública (Lempart et al., 2018).

3.8. Efectos en la salud de las aguas provenientes del lavado de los filtros de piscinas

El agua de retrolavado de las piscinas contienen patógenos, estos pueden representar una fuente de riesgo de infección si no son controlados adecuadamente. Murphy et al. (2013), estudiaron muestras de concentrado de filtros de piscinas públicas, en las que detectaron *Escherichia Coli* en el 58% de

muestras y *pseudomonas aeruginosa* en un 59%, lo que alude a una contaminación introducida por los bañistas, es importante recalcar, que los parámetros de cloro residual y pH se encontraban dentro de los rangos recomendados.

Estos contaminantes suponen un riesgo para la salud humana, especialmente si el agua de lavado es descartada a una cuenca hídrica donde puede haber contacto humano o bien por infiltración en fuentes de aguas potables, que, al ser ingeridas, el consumidor puede presentar problemas en la salud tales como diarrea o problemas en los riñones.

Los subproductos químicos de la desinfección, que se generan en piscinas tratadas con cloro o bromo como resultado de la interacción entre los desinfectantes y materia orgánica producto del bañista o del entorno donde se encuentre ubicada la piscina, suele presentar un potencial riesgo sobre el bañista por la exposición crónica por diferentes vías (inhalación, ingesta y adsorción cutánea), estos subproductos incluye a los trihalometanos y ácidos haloacéticos que pueden ser tóxicos, irritantes y posiblemente carcinogénicos, particularmente con exposición inhalatoria o dérmica prolongada (Lempart et al., 2018).

3.9. Tratamiento de aguas residuales de los retrolavados de los filtros de piscina

El tratamiento de aguas residuales en piscina hace referencia a los procesos tecnológicos utilizados para recuperar la calidad del agua hasta niveles aceptables de acuerdo a la capacidad de absorción del medio ambiente y las normativas vigentes del país. Esto significa, disminuir la carga contaminante que contiene el agua cruda hasta valores bastante considerables de acuerdo a las normativas vigentes que permitan que el cuerpo receptor no sufra daños considerables en los ecosistemas e influya en las actividades humanas.

3.10. Etapas de un sistema de tratamiento de aguas residuales de los retrolavados de los filtros de piscinas

El mantenimiento periódico de las instalaciones acuáticas requiere la ejecución regular de ciclos de retrolavado en las unidades de filtración para remover las partículas y los sólidos acumulados en el lecho filtrante. Este procedimiento genera un efluente caracterizado por elevadas concentraciones de sólidos suspendidos totales, turbidez, materia orgánica, entre otros, parámetros que impiden su descarga directa al alcantarillado sanitario sin un acondicionamiento previo.

Ante la creciente necesidad de optimizar la gestión del recurso hídrico, el tratamiento de estas aguas residuales permite no solo garantizar el cumplimiento normativo ambiental vigente, sino también viabilizar su recirculación en el mismo sistema. Entre las etapas de tratamiento se comprenden:

3.10.1. Filtro Hidrociclón

Los hidrociclones son dispositivos de separación basados en la fuerza centrífuga. Su diseño simple, sin partes móviles les permite operar de manera continua y eficiente. El principio básico de funcionamiento de un hidrociclón involucra la entrada tangencial del fluido en una cámara cilíndrica que se estrecha hacia un tubo cónico (VVARA, 2024).

Estos se pueden usar como espesadores, clarificadores y separadores de partículas. Estos se clasifican en hidrociclón simple y multiciclón. Los simples poseen una sola unidad, son de gran diámetro y para aumentar su eficiencia de colección o su capacidad, se realizan arreglos en serie, paralelo, o bien, se instala una recirculación. Por lo contrario, los multiciclones son la unión en paralelo de varias unidades de menor diámetro en una cámara rectangular (Huallpa Vargas, 2024).

En la tabla 1 se muestra que el diseño de un hidrociclón se basa en el caudal circulado y la presión de alimentación.

Tabla 1

Parámetros de Diseño de Hidrociclones de entrada Tangencial

Parámetros	Valor
Diámetro del Hidrociclón	<1.0 m
Velocidad de Alimentación	3.7-6.1 m/s
Presión de Alimentación	50-100 psi

Nota. Adaptada. Huallpa Vargas (2024).

Los resultados experimentales obtenidos por Huallpa Vargas (2024), sobre la eficiencia de remoción de arena en una planta de tratamiento demostraron que el hidrociclón alcanzó una eficiencia óptima del 73.45%. Asimismo, los autores añadieron que teóricamente estos equipos alcanzan un 90% de remoción en partículas de menor tamaño.

De igual manera, los resultados evidencian una disminución de la carga coloidal que oscila entre 29.9% y 46.3%, lo que posiciona al Hidrociclón como un equipo eficiente para la remoción de turbidez.

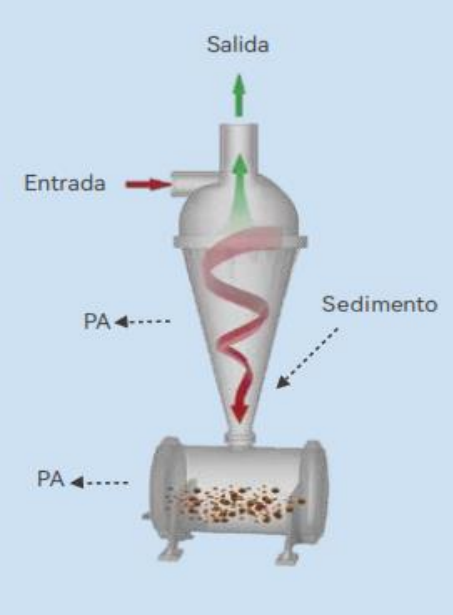
En la Figura 1 se aprecia el principio de funcionamiento de un Hidrociclón:

1. Entrada del Fluido: el fluido, cargado con sólidos suspendidos, ingresa tangencialmente a alta velocidad en la cámara cilíndrica del hidrociclón.
2. Generación del Vortice: la forma cónica del hidrociclón provoca un vórtice descendente hacia el vórtice del cono y un vórtice ascendente hacia la parte superior.

3. Separación de sólidos: la fuerza centrífuga empuja las partículas sólidas hacia la pared exterior del vórtice , donde se desplazan hacia abajo y se descargan a través del extremo inferior del hidrociclón como una corriente de sólidos concentrados.
4. Salida de fluido limpio: el fluido más limpio, con menos sólidos suspendidos, se mueve hacia el centro del vórtice ascendete y sale por la parte superior del hidrociclón.

Figura 1

Principio de funcionamiento de un hidrociclón



Nota. Tomado VVARA (2024)

Los hidrociclones presentan una solución eficaz y económica para la remoción de sólidos suspendidos en las etapas primarias de la filtración. La incorporación de estos dispositivos en los sistemas de tratamiento y procesamiento no solo garantiza una separación rápida y efectiva, sino también constribuye a la reducción de costos operativos y al aumento de la sostenibilidad .

3.10.2. Tanque de Regulación

La integración del tanque de regulación como tanque de almacenamiento se fundamenta en el principio de optimización de infraestructura para caudales intermitentes, donde el volumen de agua residual generado es almacenado. Al operar como un tanque de almacenamiento, esta etapa mitiga picos de carga hidráulicos y orgánicos. Además de los antes mencionado la ausencia de componentes electromecánicos complejos, minimizan los gastos energéticos y gastos operativos.

Water and wastewater (2025) menciona la importancia de los tanques de regulación:

1. Gestión de la variabilidad del flujo: en muchas plantas de tratamiento, los caudales pueden fluctuar significativamente, alcanzando picos importantes en determinados momentos del día o durante tormentas, estos retienen el exceso de caudal durante estos picos y lo liberan en los periodos de baja demanda.
2. Mejora de la carga: estos no solo ayudan a controlar las variaciones de caudal, sino que también contribuyen a uniformizar las cargas químicas y biológicas. Los picos repentinos en las concentraciones de contaminantes pueden perjudicar los procesos de tratamiento biológico, especialmente aquellos sensibles a compuestos específicos. Al garantizar que las variaciones en parámetros clave como el pH, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) se estabilicen, los tanques de ecualización contribuyen a la longevidad y eficacia de los procesos de tratamiento biológico.
3. Mejorar la eficiencia de tratamiento: con un flujo y una carga más constantes, los procesos de tratamiento pueden operar en condiciones más predecibles y optimizadas. Esto suele traducirse en una mayor eficiencia, con una mejor eliminación de contaminantes y un menor consumo de energía.
4. Protección de infraestructura: Los cambios bruscos de caudal y carga pueden provocar tensiones físicas en los equipos e infraestructuras de tratamiento. Al moderar estos cambios, los tanques de ecualización contribuyen a prolongar la vida útil de los equipos mecánicos y a reducir los costes de mantenimiento. Esta función protectora es fundamental, ya que minimiza el desgaste de la infraestructura y reduce la frecuencia de reparaciones o sustituciones costosas.

3.10.3. Equipos Auxiliares

- Bomba de succión: La bomba cumplirá la función de transportar el agua almacenada en el tanque hacia el punto en el que se le dará una nueva revalorización como agua de tipo urbano para riegos de zonas verdes.
- Tuberías y accesorios: Las tuberías y accesorios cumplen una gran función en el transporte y desplazamiento del agua, ya sea desde que el agua de lavado sale del filtro de arena, hasta cuando transportan el agua por la succión ejercida por la bomba. Se debe asegurar que la bomba esté cebada (llena de agua sin burbujas de aire), se debe poner en marcha la bomba de succión e ir abriendo gradualmente la válvula de descarga para enviar el agua clarificada hacia su punto de reúso.

3.11. Principios de diseño, operación y mantenimiento de un sistema de tratamiento de agua residual

El determinante más importante en la selección del sistema de tratamiento lo constituye la naturaleza del agua residual cruda y los requerimientos de su uso o disposición final. Según Romero (1999), la solución de un problema de tratamiento de aguas residuales incluye, generalmente, cinco etapas principales:

1. Caracterización del agua residual cruda y definición de las normas de vertimiento.
2. Diseño conceptual de los sistemas de tratamiento propuestos, incluyendo la selección de los procesos de cada sistema, los parámetros de diseño y la comparación de costos de las alternativas propuestas.
3. Diseño detallado de la alternativa de costo mínimo.
4. Construcción
5. Operación y mantenimiento del sistema construido.

Todo sistema de tratamiento de aguas residuales debe estar diseñado de tal manera que, cuando se opere correctamente, produzca en forma continua el caudal. Es importante recalar, que en situaciones que amerite extraer de la operación un equipo para su mantenimiento o reparación, debe existir dos o más unidades de repuesto o reserva y la previsión en el diseño de suficientes accesorios y conexiones que faciliten el aislamiento de los equipos de operación critica (Romero Rojas, 1999).

Además, se tiene que contar con equipos de laboratorio que permitan determinar las características esenciales de operación, hacer los ajustes requeridos y controlar la calidad del efluente.

Romero Rojas (1999), cita que para asegurar un mantenimiento correcto se deben tener en cuenta lo siguiente:

- La responsabilidad del mantenimiento debe asignarse a personal competente. El sistema de tratamiento debe contar con todos los repuestos, herramientas y controles requeridos para su mantenimiento.
- El mantenimiento preventivo tiene que planearse y programarse en forma permanente.

3.12. Revalorización del agua de lavado de los filtros de piscinas

La revalorización de agua de lavado de filtros de piscina hace referencia al conjunto de acciones y estrategias técnicas orientadas a la recuperación, acondicionamiento y optimización del recurso agua. Con la finalidad, de otorgar un valor agregado a aquellas aguas consideradas “residuales”, para actividades no potables dentro de un área en específico, como pueden ser el riego de áreas verdes o riego de campos deportivos e incluso para el lavado de los inodoros (Wyczarska-Kokot y Dudziak, 2022).

En esta investigación se aborda la recuperación del agua del lavado del filtro de la piscina, transformando un efluente operativo en un recurso no convencional apto para riego de zonas verdes. A través de un sistema de tratamiento adaptado a la caracterización de dicho efluente y comparado con la normativa nacional vigente.

3.13. Marco regulatorio

El diseño e implementación de sistemas de tratamientos de aguas residuales destinadas a reúsos exige la rigurosa observancia del marco legal y normativo ambiental nicaragüense. En este contexto, la **NTON 05 027-05** (*Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para Regular los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y Reúso*) constituye el instrumento técnico principal para normar la ubicación, diseño, operación, monitoreo y aprovechamiento de los efluentes tratados a nivel nacional. En la Tabla 2 se presentan los valores máximos permisibles para Aguas Residuales y su Reúso.

Tabla 2

Límites Máximos para Aguas Residuales de Reúso

Parámetros	Unidad	Urbana
pH	-	6 – 9
Temperatura	°C	24 – 30
Cloro Residual	mg/L	0.4 -
Turbidez	UNT	30
Color	mg/L Pt-Co	<1.00
Espuma	-	Ausencia
Materia Flotante	-	Ausencia
DBO_5	mg/L	20
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	5
Tasa de Absorción de Sodio	mg/L	10
Hierro	mg/L	5
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	30
Aceites y Grasas (A y G)	mg/L	15
Huevos de Helmintos	-	1 cada 10 mL
Coliformes Fecales	NPM/100 mL	$1*10^5$

Nota. Adaptado de NTON O5 027-05

Esta normativa fomenta el concepto de la economía circular a través del reúso seguro del agua tratada, definiendo límites permisibles y criterios de calidad en función del uso final proyectado de estas aguas, ya sea, fines agrícolas, recreativo o de mantenimiento de áreas verdes.

IV. METODOLOGÍA

4.1. Tipo de Investigación

Este trabajo de investigación tiene un enfoque investigativo-experimental, ya que se llevó a cabo una exploración de información exhaustiva y ensayos de laboratorios, para determinar la calidad del agua residual proveniente del retrolavado del filtro de arena. Además, del análisis detallado de cada etapa del sistema de tratamiento seleccionado y el análisis de datos a través de herramientas Microsoft y la herramienta de diseño AutoCAD en su edición 2027.

4.2. Ubicación de Estudio

4.2.1. Macrolocalización

El colegio Calasanz se encuentra emplazado en la región centro-occidente de Nicaragua, en el departamento y municipio de León. Geográficamente, la zona de estudio se enmarca en la ciudad de León, caracterizado por su conectividad con las principales carreteras viales del occidente del país. El área urbana del León presenta condiciones óptimas de accesibilidad y disponibilidad de servicios de infraestructura base necesaria para el desarrollo de proyectos de ingeniería del agua (Figura 2-A).

4.2.2. Microlocalización

A nivel microterritorial, el estudio se delimita dentro de las instalaciones del colegio Calasanz, ubicado en el sector sur-occidental del casco urbano de la ciudad de León, específicamente en el barrio Sutiaba. ´

El área de intervención puntual comprende la zona adyacente a la piscina, identificada dentro del polígono delimitado en la Figura 2-B, cuyas coordenadas son 16P 0510870;137 4663.

Figura 2

A) Macrolocalización y B) Microlocalización del Colegio Calasanz de León, Nicaragua.



Nota. Tomado de Google Earth.

4.3. Proyección poblacional

La proyección de la población que hace uso de la piscina se determinó de acuerdo a la ***Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*** de Nicaragua haciendo uso de la Ecuación 1. Esto con el propósito de conocer la cantidad de personas que utilizan la piscina. Los cálculos de la proyección población se muestran en el **Anexo 2**.

$$P_f = P_o \times (1 + r)^t \quad \textbf{Ec. 1}$$

4.4. Caracterización de la piscina estudiada

En la Figura 3-A se puede observar la piscina del colegio Calasanz, su estructura es rectangular y es una piscina de obra debido a que está diseñada específicamente para dicho colegio. Por otra parte, el colegio atiende una población estudiantil de aproximadamente 722 estudiantes para el año lectivo 2025, los cuales hacen uso de la piscina para fines educativos.

La piscina deportiva de dicho colegio presenta las siguientes dimensiones: Largo =18.70 m, ancho =10.80 m, profundidad = 1.30 m y hondo = 2.70m, el volumen de la piscina es de 404 m^3. Esta piscina cuenta con un filtro de arena como se muestra en la Figura 3-B, el cual es lavado cada 2 a 3 días por semana.

Figura 3

A) Piscina del Colegio Calasanz y B) Filtro de arena de la piscina



Nota. Elaboración propia

4.5. Recolección de muestras de agua procedente de los lavados de los filtros de la piscina

El protocolo de muestro se dividió en cuatro fases cronológicas basada en la descarga del efluente, estas muestras fueron recolectadas de acuerdo a lo establecido en el Decreto 21-2017. La Fase 1 corresponde al inicio del proceso, presentando características visualmente similares al agua potable. La Fase 2 representó el punto de máxima concentración de contaminantes (pico de carga). La Fase 3 mostró una transición con una reducción progresiva de contaminante en comparación con la fase anterior y en la Fase 4 el efluente recupera su claridad indicando la finalización del lavado de los filtros.

Se realizó el seguimiento técnico de las variables críticas en campo en cada fase del proceso, es decir, medición de pH, temperatura y Cloro residual (Figura 4). Dichas mediciones se realizaron de forma secuencial en las cuatro fases establecidas para garantizar la trazabilidad de las condiciones fisicoquímicas del agua residual del retrolavado del filtro de la piscina.

Las muestras de agua fueron recolectadas con recipientes plásticos como se muestra en la Figura 5-A. Las muestras se almacenaron en galones plásticos (Figura 5-B), previamente lavados con Extran y enjuagados con aguas destiladas. Cada galón fue rotulado; Fase/ Fecha de recolección / Hora de recolección y / Tipo de muestra.

Figura 4

A) Medición de pH; B) Temperatura ºC y C) Cloro Residual



Nota. Elaboración propia

Posteriormente fueron transportadas en termos con suficiente cantidad de hielo de manera que cada frasco fue cubierto en su totalidad (Figura 5-C), las muestras deben estar a una temperatura de 2-6°C, Se procuró mantener las muestras lo menos expuestas a la luz solar para evitar degradación. La medición de los parámetros objeto de cuantificación fue realizada en los Laboratorios de Aguas residuales, Fisicoquímica y microbiológicos *del Centro de Investigación para la Sostenibilidad Ambienta*l (UNI-CISA) ubicado en el Recinto Universitario Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería en la ciudad de Managua, Nicaragua.

Figura 5

Recolección y preservación de muestras de agua residual del retrolavado del filtro de la piscina. A) Recolección de muestras; B) Vertido de muestras en los recipientes plásticos y C) Preservación térmica de las muestras



Nota. Elaboración propia

4.6. Métodos y herramientas de medición para el análisis de los parámetros de calidad del agua de lavado de los filtros de la piscina

En la Tabla 3 se exponen los principales parámetros, métodos y herramientas de medición a utilizar para el desarrollo de los métodos analíticos de acuerdo al **"*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 24TH Edition*"**. Cabe mencionar, que estos se detallarán con base en los requerimientos que demanda cada uno de los métodos a utilizar y los establecidos en ***NTON 05 027-05.***

Tabla 3

Métodos para el análisis en el laboratorio de muestras de agua de lavado de los filtros de la piscina

Parámetros	Método	Herramienta de Medición
pH (-)	Potenciométrico	Medidor portátil MW808 MAX MILWAUKEE
Temperatura (˚C)	Potenciométrico	Medidor portátil MW808 MAX MILWAUKEE
Cloro Residual (mg/L)	Colorimétrico	Dispositivo colorimétrico de bolsillo, DR900 CAL RASTR RBC (HACH)
Turbidez (UNT)	Turbidímetro	Turbidímetro HACH serie 2100
Color (Pt-Co)	Colorimétrico	Dispositivo colorimétrico de bolsillo, DR900 CAL RASTR RBC (HACH)
Olor (OU)	Descripción cualitativa	Olfatometría dinámica
Espuma	Descripción cualitativa	Visual
Materia flotante	Descripción cualitativa	Visual
Solidos suspendidos totales (mg/L)	Gravimétrico	Determinación por diferencia de peso (Balanza Analítica y horno)

Demanda bioquímica de oxígeno (mg O_2/L)	Prueba DBO de 5 días	Incubadora
Oxígeno Disuelto (mg/L)	Modificación de Azida	Titulación
Aceites y grasas flotantes	Método gravimétrico	Determinación por diferencia de peso (Balanza Analítica y horno)
Hierro	Método de fenantrolina	HACH DR 6000
Huevos de Helmintos	Diferencia de densidades	Centrifuga
Coliformes Totales	Número Más Probable (NMP)	Visual
E. Coli	Número Más Probable (NMP)	Visual
Coliformes Fecales	Número Más Probable (NMP)	Visual

Nota. Elaboración propia

4.7. Determinación del Caudal Actual

Se identificó el canal de descarga del efluente proveniente del retrolavado del filtro de la piscina para estimar el flujo de descarga través del método volumétrico (Ecuación 2). La medición se realizó en la tubería de salida de PVC de 2" de diámetro, la cual conecta con el canal de salida que va al alcantarillado público (Figura 6). Esta información es importante para el diseño y selección de las etapas del sistema de tratamiento.

Para el procedimiento, se utilizó un recipiente plástico con capacidad de 4 L y un cronómetro, registrando los tiempos de llenado por cada muestra.

$$\mathrm{Q}\ [\mathrm{L/s}] = \frac{\mathrm{v}\ [\mathrm{L}]}{\mathrm{t}[\mathrm{s}]}\ \mathbf{Ec.\ 2}$$

Figura 6

Canal de salida del agua del retrolavado del filtro de la piscina



Nota. Elaboración propia.

4.8. Interpretación de Resultados

Para analizar la concentración de los grupos indicadores de calidad del agua residual, estos valores se compararon con los valores máximos permisibles establecidos en la Normativa Nicaragüense 05 027-05, tipo 2, ***Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense para Regular los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y su Reúso.***

La integración de dichos documentos normativos permitió identificar parámetros críticos no contemplados en la normativa nacional nicaragüense, los cuales resultan indispensables para consolidar las cargas contaminantes de dichas muestras.

La finalidad es identificar de manera objetiva las desviaciones normativas existentes en cada fase del efluente, proporcionando la base técnica para la especificación y dimensionamiento de un sistema de tratamiento adecuado de gestión de agua residual

V. RESULTADOS Y DISCUCIÓN

5.1. Determinación de la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de lavado de los filtros de la piscina del colegio Calasanz-León

El estudio experimental permitió la caracterización fisicoquímica y microbiológica del efluente generado durante el proceso de retrolavado de los filtros, evaluando un total de 17 parámetros indicadores de calidad del agua bajo normativas nacionales. Los resultados obtenidos in situ y de laboratorio se muestran en la Tabla 4, donde se observa una variabilidad significativa en carga contaminante distribuida en las cuatro fases de salida del efluente. La Fase 2 constituye el punto crítico o punto de mayor concentración, porque se registraron las concentraciones más elevadas en indicadores importantes como la turbidez (658 UNT), SST (130.43 mg/L) y DBO_5 (79.91 mgO_2/L). Este comportamiento sugiere que el mayor desprendimiento de partículas que se acumularon en el lecho filtrante ocurre bruscamente durante este intervalo específico del retrolavado. Desde la perspectiva microbiológica, se detectó la presencia de E. Coli y Huevos de Helmintos en la Fase 2, confirmando que dicha fase es el pico de mayor concentración de contaminantes. En contraste, el cloro residual presentó una deficiencia notable, lo cual podría explicar la persistencia de algunos patógenos en el agua del retrolavado.

Tabla 4

Concentración de los parámetros físico-químicos del agua residual del retrolavado

Parámetros	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	$\bar{X}$Fases
pH	5.99	5.98	6.03	6.03	6.0
Temperatura ºC	28.7	28.9	29.5	29.2	29.08
Cloro Residual, mg/L	1.02	0.26	0.27	0.26	0.45
Turbidez, UNT	23.2	658	17	6.47	176.20
Color, Pt-Co	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00	<1.00
Espuma	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
SST, mg/L	15	130.43	12	11	42.11
DBO_5, mgO_2/L	16.34	79.91	10.9	9.08	29.06
OD, mg/L	3.26	9.66	8.93	2.85	4.94
TAS,	2.06	2.36	2.25	2.21	2.22
AyG, mg/L	11	12	11.4	7.2	10.40
Hierro, mg/L	3.693	5.685	1.503	0.766	2.91
Huevos de Helmintos	0	1	0	0	0.25
Coliformes Fecales	1.1	$2*10^2$	2.2	<1.1	$6.8*10^1$
E.Coli	1.1	$2*10^2$	2.2	<1.1	$6.8*10^1$

Nota. Elaboración propia

5.2. Comparación de los resultados obtenidos con la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON) 05 027-05 para agua de reúso de tipo urbano

Para la comparación de los resultados con respecto a la normativa nacional se utilizó el promedio de las fases. El promedio de las Fases representa la concentración neta del nivel de contaminación, reflejando el impacto real que tiene la descarga total del efluente en el sistema receptor.

En la Tabla 5 se observa un desfase crítico en parámetros estéticos y de carga orgánica frente a la normativa mencionada. La turbidez (176.20 UNT) y los sólidos suspendidos (42.11 mg/L) promedios exceden ampliamente los límites permisibles, respectivamente. Asimismo, la DBO_5 registró valor de 29.06 mg/L, lo que evidencia presencia de materia orgánica degradable en el agua residual. Estos valores obtenidos, nos dieron a conocer la necesidad de implementar medidas de tratamiento previo antes de la disposición final del agua residual para mitigar cualquier atisbo de contaminación ambiental.

Tabla 5

Comparación del promedio de las fases respecto a la NTON 05 027-05

Parámetros	$\bar{X}$Fases	NTON 05 027-05
pH	6.0	6 – 9
Temperatura ºC	29.08	24 – 30
Cloro Residual, mg/L	0.45	0.4 – 1.2
Turbidez, UNT	176.20	30
Color, Pt-Co	<1.00	<1.00
Espuma	Ausente	Ausente
Materia flotante	Ausente	Ausente
SST, mg/L	42.11	30
DBO_5, mgO_2/L	29.06	20
OD, mg/L	4.94	5
TAS,	2.22	6
AyG, mg/L	10.40	15
Hierro, mg/L	2.91	5
Huevos de Helmintos	0.25	1 cada 10 mL
Coliformes Fecales	$6.8*10^1$	$1*10^5$
E.Coli	$6.8*10^1$	

Nota: El color Rojo representa los valores que no cumplen con la normativa y el color verde los que sí cumplen con las normativas. Elaboración propia.

5.3. Planteamiento del sistema de tratamiento de agua residual para el agua de lavado de los filtros de la piscina, aplicando criterios técnicos y ambientales

5.3.1. Determinación de Caudales actuales

Para la estimación de caudales actuales, se empleó el método volumétrico en el canal de salida del efluente, por ser la técnica más sencilla y confiable para la medición de flujos pequeños. En la Tabla 6 se reportan los caudales registrados durante las Fases de retrolavado del filtro de arena. Los cálculos para la estimación de los caudales actuales se presentan en el **Anexo 3**.

Como se observa en la Figura 7, la Fase 1 y Fase 3 presentan un régimen de flujo estable de agua residual, alcanzando un pico de 2.05 L/s en la Fase 2. No obstante, en la Fase 4 se observa una caída crítica de caudal, indicativa de la culminación del proceso de retrolavado, validando la transición hacia el cierre del ciclo operativo.

Tabla 6

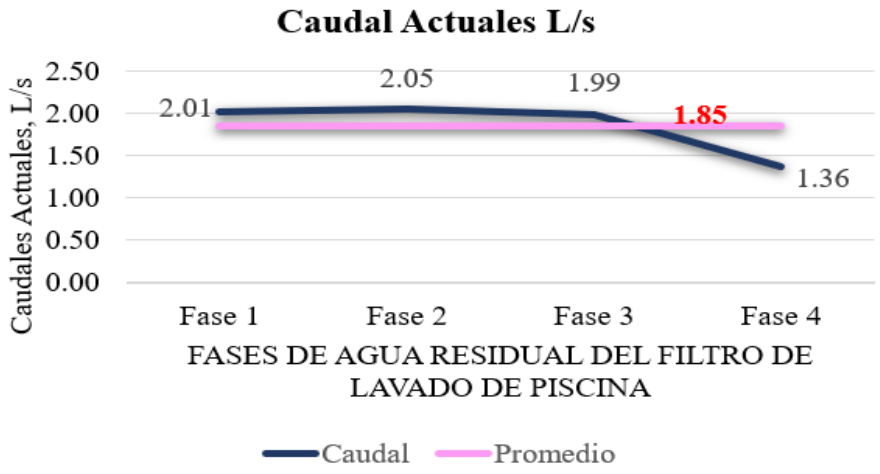
Caudales actuales para cada fase determinados en campo

Fase	Hora	Caudal Q (L/s)
Fase 1	8:30 a.m.	2.01
Fase 2	8:37 a.m.	2.05
Fase 3	8:45 a.m.	1.99
Fase 4	8:53 a.m.	1.36
	$\bar{X}Q\ (L/s)$	**1.85**

Nota. Elaboración propia

Figura 7

Caudales actuales determinados en campo



Nota. Elaboración propia

5.3.2. Determinación de Caudales de Diseño

Para determinar los caudales de diseño, se consideró el caudal máximo, caudal mínimo y caudal promedio actual, debido a que el sistema de retrolavado del filtro de arena no opera en tiempo completo, es decir, no es un flujo constante de 24 horas, el ciclo ocurre en aproximadamente 5 minutos una vez/día. Haciendo uso de la Ecuación 4 se logra obtener los caudales proyectados.

$$Q\left[\frac{m^3}{L}\right] = Q_{actual}\left[\frac{L}{s}\right] * t\,[s] * N\left[\frac{Veces}{día}\right] * \frac{1\ m^3}{1000\ L} * k \quad \textbf{Ec. 4}$$

Los caudales de diseño proyectados, se establece una capacidad operativa considerable mayor para satisfacer la demanda futura. Como se visualiza en la tabla 7, el sistema será diseñado para manejar un caudal medio de 0.711 m^3/día y un caudal máximo de diseño de 0.788 m^3/día, lo que garantiza la suficiencia de la infraestructura ante variaciones de caudales. Los cálculos de caudales proyectados se presentan en el **Anexo 4**.

Tabla 7

Caudales Actuales y Caudales de Diseño

Caudales Actuales (L/s)	Caudales de Diseño (m^3/día)
Q_{min}= 1.36	Q_{min}= 0.523
Q_{med}= 1.85	Q_{med}= 0.711
$Q_{máx}$= 2.05	$Q_{máx}$= 0.788

Nota. Elaboración propia

5.3.3. Sistema de Tratamiento de Agua Residual seleccionado

Teniendo en consideración tres de los parámetros analizados en las muestras combinadas de agua procedente del lavado del filtro de la piscina del colegio Calasanz, se propone la alternativa del sistema de tratamiento de agua residual:

$$\boldsymbol{Afluente \rightarrow Filtro\ Hidrociclón \longrightarrow Tanque\ de\ Regulación \longrightarrow Efluente}$$

Determinación de la eficiencia de remoción de los contaminantes en el sistema de tratamiento

Se realizaron todos los balances de contaminantes en las unidades de tratamiento seleccionadas con los porcentajes de remoción teóricos y se verificó que el sistema propuesto cumpla con los rangos y valores máximos permitidos por la NTON 05 027-05, con la finalidad de asegurar que el tratamiento sea apto para su reutilización dentro de las instalaciones del colegio Calasanz-León.

En la Tabla 8 se muestran los porcentajes de remoción teóricos que permitirán verificar el cumplimiento del sistema de tratamiento seleccionado.

Tabla 8

Porcentajes de remoción en las etapas del Sistema de Tratamiento

	Filtro Hidrociclón	Tanque de Regulación
Parámetros	**%Remoción**	**%Remoción**
SST [mg/L]	73.45-90%	40-60%
DBO_5 [mg O_2/L]	N/A	20-40%
Turbidez [UNT]	29.9-46.3%	82.90%

Nota. N/A, No aplica. Elaboración propia

En la Tabla 9 y 10 se presentan los resultados de los balances de contaminantes para las etapas del sistema de tratamiento. La columna Afluente indica la cantidad de agua cruda que entra a las etapas de tratamiento, los valores de la columna %Remoción hacen referencia al porcentaje de remoción de contaminantes aplicado, la columna Cantidad Removida indican la cantidad removida de concentración de contaminante y la columna Efluente al agua con reducción de contaminante.

Tabla 9

Cantidad removida y sin remover de los parámetros de estudio que no cumplen con NTON 05 027-05 para el Filtro Hidrociclón

Parámetros	**Afluente**	**Filtro Hidrociclón**		**Efluente**
		%Remoción	**Cantidad Removida**	
SST [mg/L]	42.11	90%	37.899	4.21
DBO_5 [mg O_2/L]	29.6	N/A	29.60	29.60
Turbidez [UNT]	176.2	46%	81.581	94.619

Nota. Elaboración Propia

Los cálculos correspondientes a la remoción de los parámetros que no cumplen con la normativa se presentan en el **Anexo 8**

Tabla 10

Cantidad removida y sin remover de los parámetros de estudio que no cumplen con NTON 05 027-05 para el Tanque de Regulación

Parámetros	Afluente	Tanque de Regulación		Efluente
		%Remoción	Cantidad Removida	
SST [mg/L]	4.21	50%	2.105	2.105
DBO_5 [mg O_2/L]	29.60	40%	11.840	17.76
Turbidez [UNT]	94.619	82.90%	78.439	16.180

Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 11 se muestra la comparación de los parámetros Fisicoquímicos luego del sistema de tratamiento propuesto con los valores o rangos máximos permisibles de NTON 05 027-05. Los valores en el efluente se encuentran dentro de lo establecido en dicha normativa, por lo que se considera que el sistema de tratamiento de agua residual propuesto resulta adecuado.

Tabla 11

Parámetros fisicoquímicos en el efluente y su comparación con NTON 05 027-05

Parámetro	Afluente	Efluente	NTON 05 027-05	Aceptable/No Aceptable
SST [mg/L]	42.11	2.105	30	**Aceptable**
DBO_5 [mg O_2/L]	29.6	17.76	20	**Aceptable**
Turbidez [UNT]	176.2	16.180	30	**Aceptable**

Nota. Elaboración propia.

5.3.4. Dimensionamiento del sistema de tratamiento propuesto

Filtro Hidrociclón

Para la selección del filtro hidrociclón se tomó en cuenta el caudal máximo de 2.05 L/s o 7.38 m^3/h proveniente del retrolavado del filtro de la piscina con un diámetro nominal a la entrada de 2 pulgadas. En la tabla 12 se detallan las especificaciones técnicas del filtro hidrociclón seleccionado, en **Anexo 1-Figura 9** se presenta el plano del filtro Hidrociclón.

Tabla 12

Especificaciones técnicas del filtro hidrociclón

Descripción técnica	
Tipo	Ciclón de corte estándar
Ángulo del cono	15º
Tamaño del orificio de descarga	12-16 mm
Tubería de alimentación	2 pulgadas
Dimensiones externas	680x270x270 mm
Material	PVC
Presión de operación	0.5 a 4 Bar
Caudal	5-10 m^3/h
Diámetros de Partículas típico	9.0 -16.0 µm
Alta capacidad de flujo	
Adecuado para su uso como hidrociclón independiente	

Nota. Adaptado de (Gravity Cyclones, 2021)

Tanque de Regulación

Para el dimensionamiento del Tanque de Regulación se consideró principalmente el caudal máximo (calculo en Anexo 4). Además, se asumió un tiempo hidráulico (TRH), caudal de descarga (Q_d) y velocidad de descarga del efluente.

En la Tabla 13 se resumen los valores considerados para el dimensionamiento del tanque de regulación, los cálculos pertinentes se detallan en el **Anexo 5, en Anexo 1-Figura 10** se presentan los planos del Tanque de regulación**.**

Tabla 13

Dimensiones del Tanque de Regulación

Parámetros	Datos	Unidades
Caudal máximo	0.788	m^3/día
DN de tubería de Ingreso	2”	Pulg
Tiempo de Retención Hidráulico	3	Días
Volumen del Tanque Real	2.36	m^3
Altura del Taque	1.45	m
Área superficial del Tanque	1.63	m^2
Borde libre	0.20	m
Altura total del Tanque	1.65	m
Relación L: B; 2:1		
Ancho del Tanque de Almacenamiento	0.9	m
Largo del Tanque de Almacenamiento	1.8	m
Espesor de pared del tanque	0.20	m
Espesor de losa	0.25	m
Tiempo de Vaciado	0.18	H
Caudal de salida	0.0036	m^3/s
Velocidad de salida	0.75	m/s
DN de tubería de salida del tanque	2 ½	Pulg

Nota. Elaboración propia.

Tuberías y accesorios

Para la selección de las tuberías se tomó en cuenta el diámetro de la tubería de descarga de PVC, la cual posee un diámetro nominal de 2 pulgadas (0.0525 m) y que estará conectada al hidrociclón. La tubería de descarga será de diámetro nominal de 2 ½ pulgadas (0.0627 m) y estará conectada al tanque de almacenamiento y a la bomba de succión, los cálculos para la selección de la tubería de descarga se encuentran en el **Anexo 6**.

Los accesorios seleccionados fueron dos codos de 90º estándar y una válvula de retención tipo bola.

Bomba de succión

Para la selección de la bomba más adecuada se tomó en consideración la función de transportar el agua desde el tanque de almacenamiento hacia el punto en donde se le dará una nueva revalorización como agua para riego de zonas verdes. La bomba seleccionada fue una bomba centrífuga con una potencia estimada de 0.5 HP y una eficiencia de 53.3%, esto considerando las perdidas por fricción a lo largo de la tubería de succión y las perdidas menores por accesorios. Los cálculos para la selección de la bomba se muestran en el **Anexo 7**.

5.4. Diseño conceptual del sistema de tratamiento, procedimientos de operación y plan de mantenimiento

El diseño conceptual se fundamenta en el tratamiento primario avanzado que integra la separación mecánica por fuerza centrífuga por medio del Filtro hidrociclón, la clarificación por medio del tanque de regulación y la revalorización del efluente para usos no potables. En la Figura 8 se presenta el Diagrama de Flujo de Proceso o PFD (por sus siglas en inglés), en el cual se detallan de forma secuencial las etapas consecutivas del sistema de tratamiento y la remoción de carga contaminante.

El agua residual del lavado de los filtros de arena ingresa como efluente a una concentración inicial de sólidos suspendidos totales de 42. 11 mg/L, con una Demanda bioquímica de oxígeno de 29.6 mgO_2/L y una turbidez de 176.2 UNT.

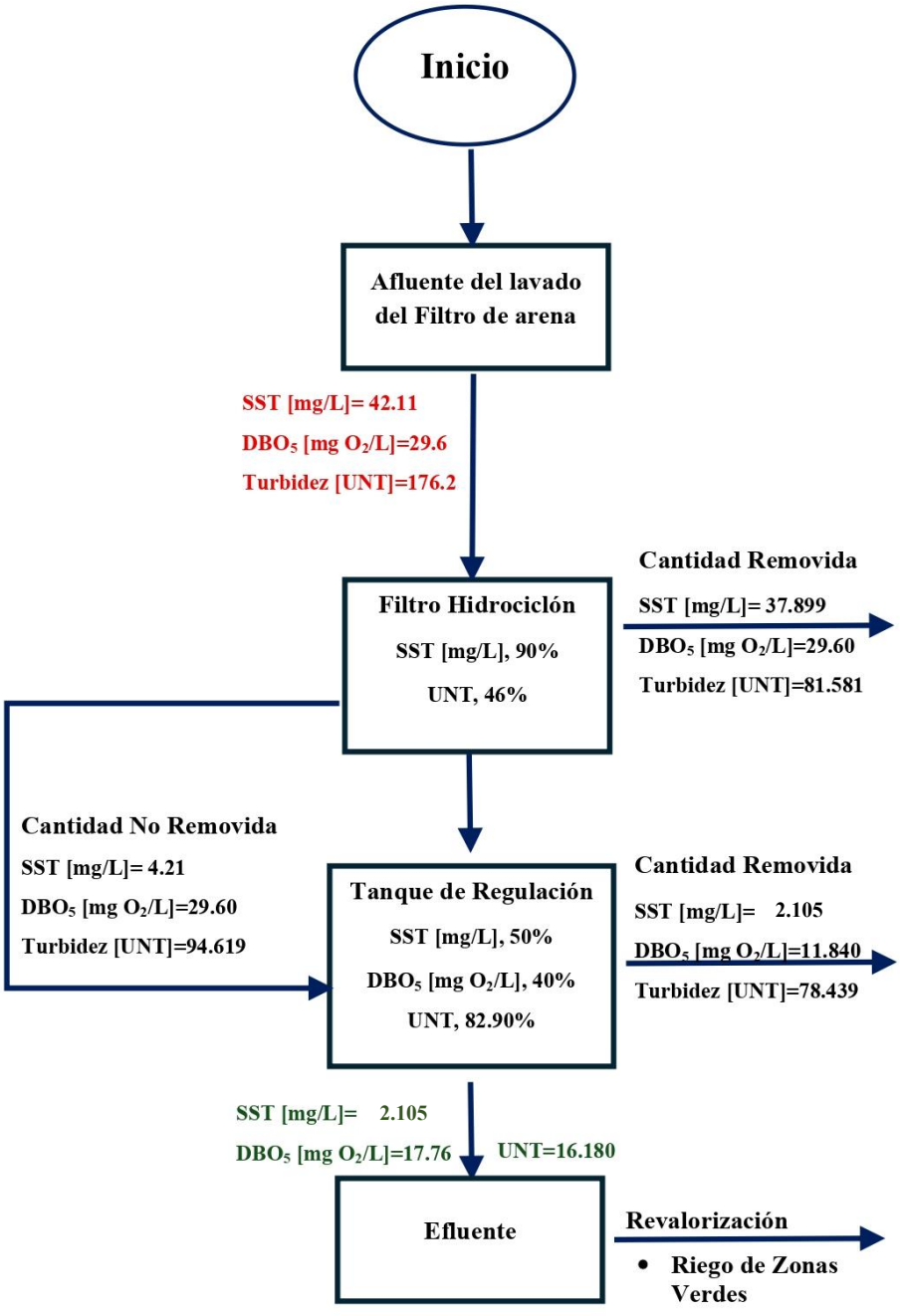
En la primera etapa, el efluente es tratado mediante el Filtro de hidrociclón, el cual alcanza una eficiencia de remoción del 90% en SST y del 46% en turbidez, logrando remover 37.899 mg/L de SST y 81.581 UNT. La segunda etapa lo comprende el tanque de regulación, este actúa como una unidad de homogenización y sedimentación secundaria. Este sistema complementario presenta eficiencia de remoción del 50% para SST, 40% para DBO_5 y 82.90% para UNT.

Finalmente, el efluente tratado registra concentraciones de SST de 2.105 mg/L, DBO_5 de 17.76 mgO_2/L y una turbidez final de 16.180 UNT. Este nivel de calidad permite la revalorización del recurso hídrico mediante su aprovechamiento para el riego de zonas verdes o bien para el lavado de los baños higiénicos del colegio Calasanz de León.

El plano de la disposición del sistema de tratamiento se presenta en el **Anexo 1-Figura 11**.

Figura 8

Diagrama de Flujo de Procesos (PFD)



Nota. Elaboración propia

En la tabla 14 se presenta el plan de mantenimiento preventivo para todos los componentes del sistema de tratamiento propuesto.

Tabla 14

Plan de mantenimiento de los equipos y accesorios

Componente	Frecuencia	Acción de mantenimiento	Encargado
Hidrociclón (colector de arena)	Semanal	Realizar la apertura manual de la válvula del colector para drenar toda la arena acumulada. Verificar que no haya obstrucciones en la boquilla de descarga.	Técnico
Tanque de regulación	Semestral	Realizar una inspección visual interna. Aunque gran parte de la arena del retrolavado es retenida por el hidrociclón, pueden llegar a asentarse trazas de polvo o materia orgánica fina. Limpiar con agua a presión si se observa una capa de biopelícula adherida a las paredes de tanque.	Técnico
Bomba de succión	Mensual	Medir el consumo eléctrico y verificar que no existan ruidos extraños o vibraciones excesivas que indiquen desgaste en los rodamientos o cavitación.	Técnico
Tuberías	Trimestral	Revisar visualmente todas la juntas, uniones, empaques y accesorios (codos) para detectar alguna fuga	Técnico

Nota. Elaboración propia

VI. CONCLUSIONES

Se logró proponer el diseño técnico para el sistema de tratamiento de agua residual proveniente del agua de lavado de los filtros de la piscina del Colegio Calasanz-León para su respectiva revalorización como agua para riego de zonas verdes.

Se determinó la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua del lavado de los filtros de la piscina, haciendo uso de la metodología descrita en el Standard *Methods for the Examination of Water and Wastewater*. A su vez, se demostró que el agua procedente del retrolavado de los filtros de la piscina del Colegio Calasanz en León presenta una carga contaminante variable a lo largo del proceso identificándose la Fase 2 como el punto crítico de mayor contaminación, con niveles elevados de turbidez (658 UNT) y Sólidos Suspendidos Totales (130.43 mg/L).

Se concluyó que, al comparar los resultados con la NTON 05 027-05, el efluente promedio no cumplió con los límites permisibles para reúso de tipo urbano en parámetros clave como la turbidez (176.20 UNT), los Sólidos Suspendidos Totales (42.11 mg/L) y la DBO_5 (29.06 mg/L). No obstante, aunque los coliformes fecales se mantuvieron dentro de los rangos generales, la detección de E. Coli y Huevos de Helmintos en la fase de mayor carga representa un riesgo sanitario que incumple la exigencia de ausencia total según la normativa de salud consultadas.

La medición de caudales actuales permitió proyectar un sistema con capacidad para manejar un caudal medio de 0.711 m³/día y un máximo de 0.788 m³/día, asegurando que la infraestructura propuesta sea suficiente para las demandas operativas del colegio. Por otra parte, el planteamiento de un hidrociclón con caudales de operación de 5 -10 m³/h, con porcentajes de remoción de 90% para SST y de hasta 46.3% de turbidez que actúe como filtro sedimentador, de un tanque de regulación con un volumen máximo de 2.36 m³, con porcentajes de remoción de 60% para SST, 40% para DBO y 90% en turbidez, además de la adición de una bomba de succión de 0.5 HP capaz de trasportar el agua clarificada del tanque como agua de riego hasta las zonas verdes del colegio, resulta ser una solución técnica y económicamente viable.

Se estableció el diseño conceptual del sistema de tratamiento y a través de un diagrama de flujo de procesos se presentó el procedimiento de operación con sus respectivos porcentajes de remoción y cantidad removida de los parámetros que no cumplieron con los límites máximos permisibles por la NTON 05 027-05. Además, se estableció un plan de mantenimiento para todos los equipos y accesorios que conforman el sistema de tratamiento del agua de lavado con frecuencias de manteniendo que varían desde semanales, mensuales y hasta trimestrales.

VII. RECOMENDACIONES

Para enriquecer futuras investigaciones y dar continuidad al proyecto de tratamiento y revalorización de aguas de lavado de filtros en el Colegio Calasanz-León o en cualquier otra entidad educativa o de recreación, se sugieren las siguientes y recomendaciones:

Realizar muestreos en diferentes épocas del año (periodo escolar vs. vacaciones) para ajustar el diseño del sistema a las fluctuaciones reales de carga orgánica y microbiológica, esto debido a que las características del efluente están sujetas a la carga de bañistas y la frecuencia de mantenimiento

Evaluar métodos desinfección de bajo costo y mantenimiento, como la cloración controlada o la radiación UV, para asegurar que el agua de reúso sea biológicamente segura para el contacto humano indirecto, dado que en la caracterización del agua se detectó presencia de E. coli y Huevos de Helmintos en los puntos críticos.

Caracterizar las partículas retenidas en el tanque colector del hidrociclón, ya que en el proceso de tratamiento se producirá un residuo sólido. Una línea de investigación relevante sería la caracterización de estos sedimentos para determinar disposición final segura, cerrando así el ciclo de gestión de residuos del plantel.

Se sugiere instalar un sistema de monitoreo de caudal a la entrada y salida para verificar en tiempo real que las demandas operativas del colegio se mantengan dentro de los rangos proyectados (0.711 m^3/día promedio y 0.788 m^3/día máximo) y verificar las eficiencias de remoción esperadas.

Finalmente, en caso de instalar el sistema propuesto, se recomienda capacitar al personal técnico o de servicios generales del colegio sobre la ejecución estricta del plan de mantenimiento preventivo definido (frecuencias semanales, mensuales y trimestrales).

VIII. BIBLIOGRAFÍA

AstralPool. (2021). *Manual de Filtros de Arena*. Obtenido de PisciHome: https://pishome.es/wp-content/uploads/2022/02/Manual-filtros-arena-sand-filters-AstraPool.pdf

B. Baird, R., D. Eaton, A., & W. Rice, E. (2022). *Standar Methods For The Examination of Water and Wastewater* (24 ed.). Water Environment Federation.

C. Lipps, W., Braun-Howland, E., & E. Baxter, T. (2023). *Standar Methods for the Examination if Water and Wastewater.* American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment.

Charmain, K., & Handley, P. (2003). Bíopeliculas en los sistemas de distribución de agua. 757-775. doi:https://doi.org/10.1016/B978-012470100-7/50042-X

Coelho Pereira, F. (2018). *Clarificação por Sedimentação da Água de Lavagem de Filtro de Piscina.* UNIVERSIDAD FEDERAL RURAL DE SEMI-ÁRIDO. Mossoró: Repositorio Institucional UFERSA. Obtenido de https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/291f0c23-547c-46fe-9e34-709b47299312/content

Collivignarelli, M., Baldi, M., Abba, A., Caccamo, F., Miino, M., Rada, E., & Torretta, V. (2020). Foams in Wastewater Treatment Plants: From Causes to Control Methods. *Environmental Sciences, 10*(8). Obtenido de https://www.mdpi.com/2076-3417/10/8/2716

CPE INEN 005-9.2. (1992). *Norma para el estudio y diseño de sisetma de abastecimiento de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 hábitantes.*

Doménech-Sánchez, A., Laso, E., & Berrocal, C. (2021). Water loss in swimming pool filter backwashing processes in the Balearic. *World Water Council, 23 (5)*, 1314-1328. doi:https://doi.org/10.2166/wp.2021.217

Dudziak, M., Wyczarska, J., & Stolarczyk, A. (2019). Application of ultrafiltration in a swimming pool water treatment system. *Membranes, 9 (3)*, 1-11.

Durman. (2024). *Catálogo infraestructura Durman.*

FUJIFILM . (2023). *FUJIFILM* . Obtenido de Wakolatinamerica: https://www.wakolatinamerica.com/blog-reactivos/noticias-wako/post/cloro-residual-necesario-o-contaminante/

Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional. (2021). Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano 2022-2026.

Gravity Cyclones. (2021). Obtenido de https://www.gravitycyclones.com/hydrocyclones?hl=es-US#:~:text=GCH25FL%2025mm%20Fine%20Cut%20Loben%20*%20Hard,pressure.%20*%200.5%20%2D%201.5%20m%C2%B3%2Fhr%20flowrate%E2%80%8B

H. French, R. (2002). *Hidráulica de Canales Abiertos.*

Huallpa Vargas, H. (2024). Diseño, construcción y evaluación de un hidrociclón para la remoción de arenas residuales en el desarenador en la planta de tratamiento de aguas residuales "La Totora"-Aracuyo. *Revista Científica Aypate, 3*(2), 1-22.

Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA). (2004). *Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.*

KBS. (2013). *Diagrama de calificación compuesta para una línea de bombas centrífugas.* Obtenido de Catálogo de Bombas KSB: https://www.ksb.com/es-es/productos/catalogo-de-productos

Larrea et al. (2013). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 44*(3), 24-34.

Lempart, A., Kudlek, E., Dudziak, M., & Zawadzka, A. (2018). The Source of Toxicity of Backwash Water from a Swimming Pool Filter Bed Washings. *Sciendo*, 139-146. Obtenido de https://doi.org/10.21307/acee-2018-046

Lempart, A., Wyczarska, J., Dudziak, M., & Łaskawiec, E. (2020). Impact of swimming pool water treatment system factors on the content of selected disinfection by-products. *192*(722).

Mahapatra, S., Hibzur , A., Samal, K., & Moulick, S. (2022). Tecnologías de diagnóstico y tratamiento para la detección y eliminación de helmintos en aguas residuales y lodos. *ScienceDirezt, 8*, 100147. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772427122001024

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Bolivia). (2021). *Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales, Módulo 1.*

Navarro Hudiel, S. (2012). *Tipos de suelos en Nicaragua, química y formación de suelos.* Obtenido de Studocu.

Oakley, S., & Salguero, L. (2011). *Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica.*

OPS/CEPIS/05.158. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores.*

Queensland Health. (2019). *Water quality guidelines for public aquatic facilities.* Obtenido de Queensland Health: https://www.health.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0021/444612/water-quality-guidelines.pdf

Ramos, A. (2025). *Loco por las piscinas*. Obtenido de https://locosporlaspiscinas.com/blog/tipos-de-filtros-para-piscinas/?srsltid=AfmBOooatkTd2ESX3QJdzyykvL9ereAqesG0BWHPZQPSGF-3VLc4Wds5

Rojas, R. (2002). Sistemas de tratamientos de aguas residuales. *Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*.

Romero Rojas, J. (1999). *Tratamiento de aguas residuales.* Escuela Colombiana de Ingeniería.

Rua, L. (2021). *DQO vs DBO*. Obtenido de TECNAL: https://tecnal.com.br/es/blog/215_dqo_vs_dbo

Ruiz, E. (2024). *IDEAS DE BRICOLAJE DE VEVOR*. Obtenido de https://www.vevor.com/es/diy-ideas/cartridge-vs-sand-filter-b_10134/?srsltid=AfmBOoocfmzxhOp8ZDnqL_jPv-6dBt0CWJRmqzGhsIkB5Hp8aJn0afTL

SERA POOL. (2023). *SERA POOL*. Obtenido de ¿ Cómo realizar el retrolavado de la piscina?: https://serapool.com/en/blog-detail/blog/pool-backwashing-guide-serapool

Silva, J. (2023). Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review. *Sustainability, 15*(14), 10940. doi: https://doi.org/10.3390/su151410940

VVARA. (2024). *Hidrociclones: La solución confiable para una eficiente remoción de sólidos suspendidos en la filtración primaria*.

water and wastewater. (2025). *Tanque Ecualizador*. Obtenido de water and wastewater: https://www.waterandwastewater.com/what-is-equalization-tank-in-wastewater-treatment/

Watertest Systems . (2025). *The Importance of testing for Total suspended solids (TSS) In wastewater treatment*. Obtenido de Watertest Systems : https://www.watertestsystems.com.au/blog/posts/the-importance-of-testing-for-total-suspended-soli/

World Health Organization. (2006). *Guidelines for safe recreational water environments. Volume 2, Swimming pools and similar environments.*

Yalin, D., A.Craddock, H., Assouline, S., Ben Mordechay, E., Bengal, A., Bernstein, N., & M. Chaudhry, R. (2023). Mitigating risks and maximizing sustainability of treated wastewater reuse for irrigation. *ScienceDirect, 21*(1), 100203. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.wroa.2023.100203

IX. ANEXOS

Anexo 1. Planos del Sistema de Tratamiento

Figura 9

Plano del Filtro Hidrociclón

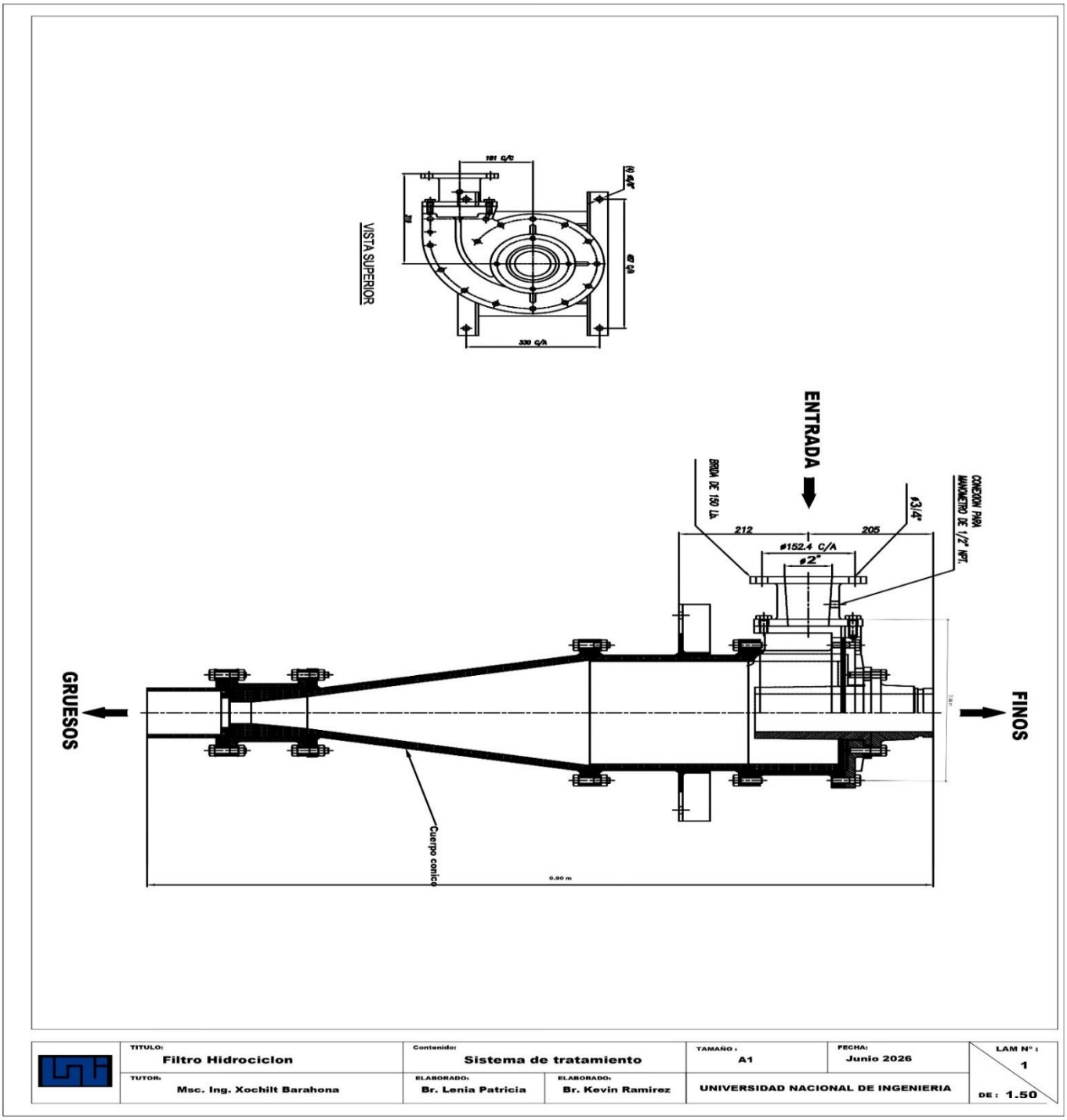


Figura 10

Plano del Tanque de Regulación

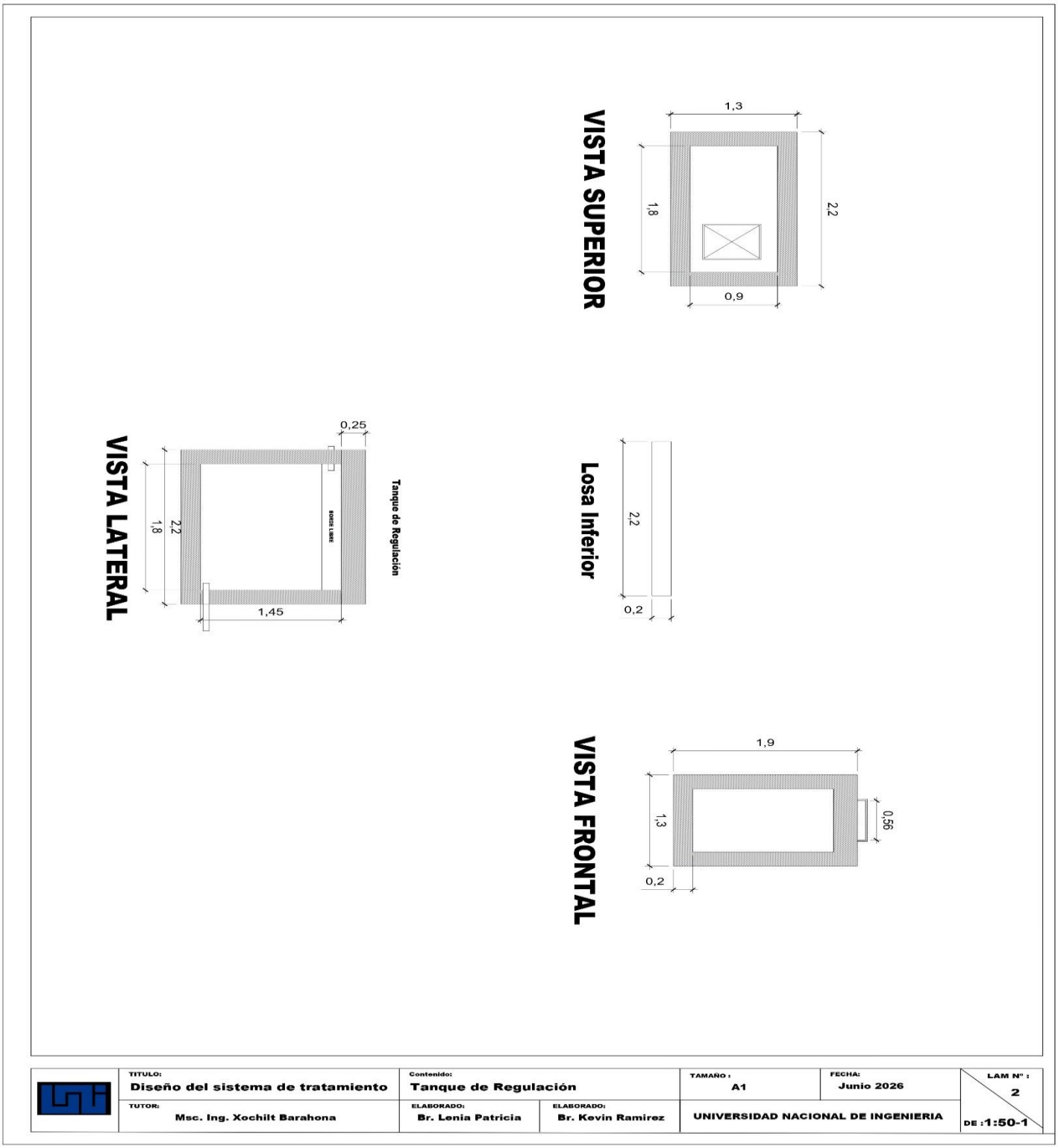
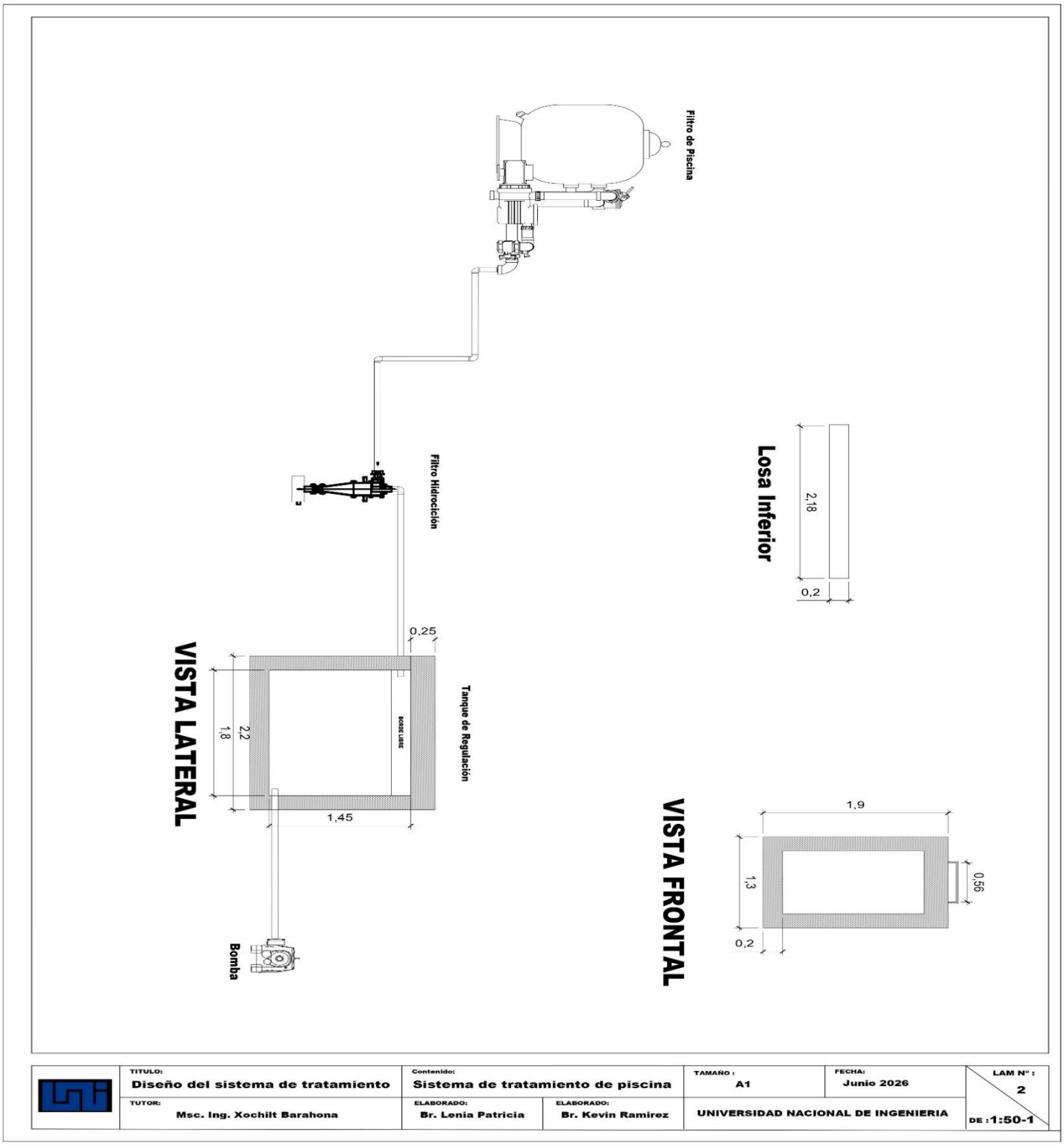


Figura 11

Plano del Sistema de Tratamiento



Anexo 2. Cálculo de la proyección poblacional

La población se determinó de acuerdo a la ***Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*** de Nicaragua.

$$P_f = P_o \times (1 + r)^t \quad \textbf{Ec. 1}$$

Donde,

P_o y P_f − Poblaciónal inico y final del período

t − Tiempo en años entre P_o y P_f

r − Tasa de crecimiento

Sustituyendo en Ec. 1

Datos:

$P_o = 722$ estudiantes

$r = 1\%$

$t = 5$ años

$$P_f = 722 \times (1 + 0.01)^5 = 759 \text{ Estudiantes}$$

Proyección del proyecto de 20 años

$P_o = 759$ estudiantes

$r = 1\%$

$t = 20$ años

$$P_f = 759 \times (1 + 0.01)^{20} = 926 \text{ Estudiantes}$$

Anexo 3. Determinación de los caudales actuales tomados en campo

$$Q\ [L/s] = \frac{v\ [L]}{t[s]} \quad \textbf{Ec. 2}$$

Donde,

v − volumen en L

t − tiempo en s

Sustituyendo en Ec. 2,

Datos:

$v = 4$ L

$t = 1.99$ s, 1.95 s, 2.01 s, 2.94 s

$$Q_{Fase\ 1} = \frac{4L}{1.99\ s} = 2.01\ L/s$$

$$Q_{Fase\ 2} = \frac{4L}{1.95\ s} = 2.05\ L/s$$

$$Q_{Fase\ 3} = \frac{4L}{2.01\ s} = 1.99\ L/s$$

$$Q_{Fase\ 4} = \frac{4L}{2.94\ s} = 1.36\ L/s$$

Caudal promedio actual

$$\overline{X}Q = \frac{Q_{Fase1} + Q_{Fase2} + Q_{Fase3} + Q_{Fase4}}{4} \quad \textbf{Ec. 3}$$

$$\overline{X}Q = \frac{(2.01 + 2.05 + 1.99 + 1.36)\frac{L}{s}}{4} = 1.85\ L/s$$

Anexo 4. Caudales proyectados

$$Q\left[\frac{m^3}{L}\right] = Q_{actual}\left[\frac{L}{s}\right] * t\ [s] * N\left[\frac{Veces}{día}\right] * \frac{1\ m^3}{1000\ L} * k \quad \textbf{Ec. 4}$$

$Q_{actual} -$ Caudal actual, L/s

t – Tiempo de retrolavado del filtro de arena = 5 min = 300 s

N – Frecuencia de retrolavado del filtro de arena en un día = 1 vez

k – tasa de crecicimiento

$$k = \frac{P_f}{P_0} = 1.282$$

Caudal mínimo

$$Q_{actual.mín} = 1.36\frac{L}{s}$$

$$Q_{mín} = 1.36\frac{L}{s} * 300\ s * 1\frac{veces}{día} * \frac{1\ m^3}{1000\ L} * 1.282$$

$$\mathbf{Q_{mín} \approx 0.523\ m^3/día}$$

Caudal Medio

$$Q_{actual.med} = 1.85\frac{L}{s}$$

$$Q_{med} = 1.85\frac{L}{s} * 300\ s * 1\frac{veces}{día} * \frac{1\ m^3}{1000\ L} * 1.282$$

$$\mathbf{Q_{med} \approx 0.711\ m^3/día}$$

Caudal Máximo

$$Q_{actual.máx} = 2.05\frac{L}{s}$$

$$Q_{máx} = 2.05\frac{L}{s} * 300\ s * 1\frac{veces}{día} * \frac{1\ m^3}{1000\ L} * 1.282$$

$$\mathbf{Q_{máx} \approx 0.788\ m^3/día}$$

Anexo 5. Dimensionamiento del Tanque de Regulación

Volumen del Tanque de Regulación

$$V_{TanqueR} = Q_{máx} \times TRH \quad \mathbf{Ec.5}$$

Datos:

$Q_{máx} \approx 0.788\ m^3/día$

$TRH = 3$ días

Donde,

$TRH -$ Tiempo de Retención Hidráulico

Sustituyendo,

$$\mathbf{V_{TanqueR} = 0.788\ \frac{m^3}{día} * 3\ días = 2.36\ m^3}$$

Área superficial del tanque de regulación

$$A_S = \frac{V_{Tanque\ Real}}{H} \quad \mathbf{Ec.6}$$

Asumiendo una altura de $\mathbf{H = 1.45\ m}$

$$\mathbf{A_S = \frac{2.36\ m^3}{1.45\ m} = 1.63\ m^2}$$

Relación Largo: Ancho $= L: B = 2: 1$

Donde,

$$A_S = L \times B \quad \mathbf{Ec.7}$$

Sustituyendo $L = 2B$

$$A_S = 2B \times B$$

$$A_S = 2B^2$$

Despejando,

$$\mathbf{B = \sqrt{\frac{A_S}{2}} = \sqrt{\frac{1.63\ m^2}{2}} = 0.9\ m}$$

Sustituyendo para obtener el largo del tanque de regulación

$$\mathbf{L = 2 \times B = 2 \times 0.9\ m = 1.8\ m}$$

Se propone un borde libre (B_L) de 0.20 m

$$H_T = (1.45 + 0.20)\text{m} = \mathbf{1.65\ m}$$

Sabiendo que la altura total es de 1.65 m tenemos que

$$H_T < 3.00\ m$$

Entonces el espesor de las paredes del tanque será de

$$\mathbf{e_p = 20\ cm = 0.20\ m}$$

Para determinar el espesor mínimo de la losa cubierta se tiene que para,

$$\frac{L}{B} = 2$$

La cubierta trabaja en una dirección, es decir, las cargas que soporta la cubierta se transfieren hacia las vigas o muros paralelos. Es por ello que, para la relación de largo entre ancho presentada anteriormente, el valor del espesor es de

$$\mathbf{e_L = 25\ cm = 0.25\ m}$$

Caudal de salida del Tanque de Regulación

Se propone un tiempo de vaciado del agua residual almacenado en el tanque de regulación de 0.18 horas (aproximadamente 10 minutos).

$$Q_{salida} = \frac{V_{Tanque\ Real}}{t_{salida}} \quad \mathbf{Ec.8}$$

$$\mathbf{Q_{salida} = \frac{2.36\ m^3}{0.18\ h} = 12.96 \frac{m^3}{h} = 0.0036\ \frac{m^3}{s}}$$

Anexo 6. Selección de tuberías

Tubería de Ingreso

El sistema de tratamiento propuesto se inicia con la captación del agua residual, un proceso caracterizado por la descarga de caudales elevados en intervalos de tiempos reducidos, es decir, flujo de agua residual intermitente. Por lo antes mencionado se proyecta una línea de conducción en PVC de 2 pulgadas, manteniendo la continuidad del diámetro de la tubería de descarga original para evitar contrapresiones o pérdidas de cargas.

Esta tubería se acoplará directamente al tanque de regulación, cuya función es amortiguar el impacto hidráulico del retrolavado, permitiendo una transición de flujo turbulento a un régimen controlado.

Tubería de Salida

Para objeto de esta investigación la tubería estará conectada a una bomba de succión, por tanto, se debe evitar el fenómeno de la cavitación. Es por ello que se asume una velocidad de descarga teórica de:

$$\mathbf{V = 0.75\ m/s}$$

Una vez obtenida la velocidad de descarga se obtiene el área de la tubería con la ecuación:

$$A = \frac{Q_{descarga}}{V} \quad \mathbf{Ec.\ 9}$$

El área de la sección transversal de una tubería circular se calcula con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad \mathbf{Ec.\ 10}$$

Igualando ambas ecuaciones:

$$\frac{\mathbf{Q_{descarga}}}{\mathbf{V}} = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Despejando el diámetro tenemos:

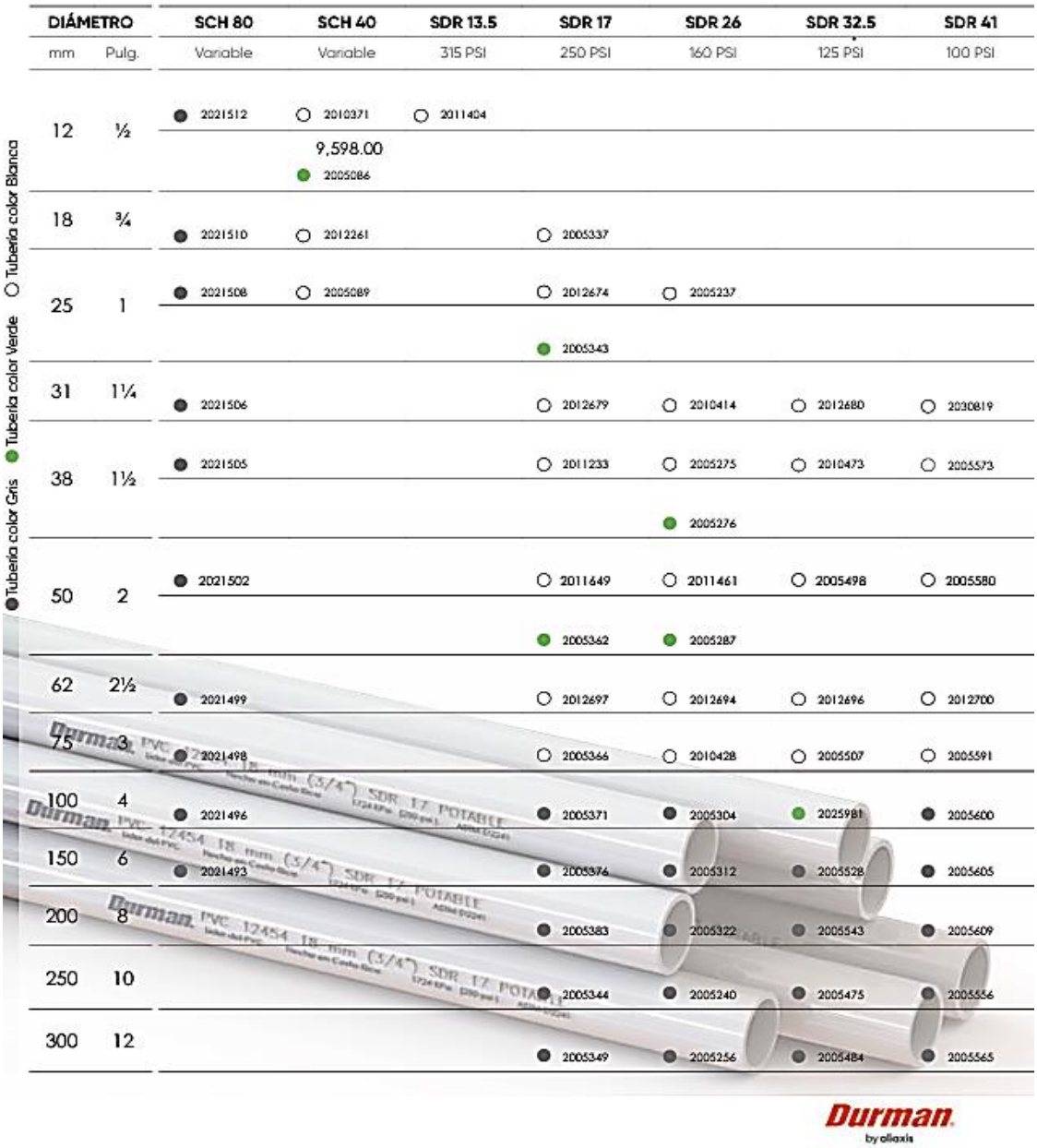
$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}} \quad \mathbf{Ec.\ 11}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.0036}{\pi * 0.75}} = \mathbf{0.05863\ m = 58.63\ mm \approx 2.21\ \textit{pulgadas}}$$

Las ecuaciones de diseño hidráulico permitieron obtener un diámetro de tubería de descarga de 2.21 pulgadas. No obstante, con la finalidad de estandarizar a las dimensiones comerciales disponibles en el catálogo de Durman y asegurar que la bomba trabaje de forma más eficiente, se selecciona un diámetro nominal de 2 1/2 pulgadas SDR 26 con diámetro interno de 67.40 mm (Figura 13). Esta selección se considera para minimizar las pérdidas de fricción.

Figura 12

Tuberías Durman



Nota. Tomado de Durman (2024)

Anexo 7. Selección de la bomba de succión

Para seleccionar la bomba más adecuada se debe calcular la carga total de la bomba (h_A) para el sistema en el cual fluye agua a 25ºC, el agua fluye a razón de 0.0036 m^3/s. La línea de succión es una tubería de PVC de DN 2 1/2 pulgadas (0.0674 m) que mide 5 m de largo. En la línea de descarga, la longitud total de la tubería de PVC DN 2 pulgadas (0.0525 m) mide 5 m. Se supuso que el ingreso del fluido desde el tanque tiene lugar por una entrada con bordes cuadrados y que los codos son estándar. La válvula es de globo completamente abierta. En la Tabla 15 se presenta la matriz de cálculo para la selección de la bomba.

Tabla 15

Matriz de cálculo de la bomba

Datos del sistema:		**Unidades del SI**			
Flujo volumétrico Q =	*57.07*	*gal/min*			
Flujo volumétrico Q =	*216.00*	*L/min*			
Flujo volumétrico Q =	*12.96*	*m^3/h*			
Flujo volumétrico Q =	*0.0036*	*m^3/s*	*Elevación en el punto 1 (h1)=*	*0*	*m*
Presión en el punto 1 =	*0*	*kPa*	*Elevación en el punto 2 (h2)=*	*5*	*m*
Presión en el punto 2 =	*0*	*kPa*	*Si el punto está en la tubería: indicar v1= vf1 o v2= vf2*		
Velocidad en el punto 1=	*0*	*m/s*	*Carga de la velocidad en punto 1 =*	*0*	*m*
Velocidad en el punto 2=	*0*	*m/s*	*Carga de la velocidad en punto 2 =*	*0*	*m*
Propiedades de fluido (agua) a 25ºC:					
Densidad (ρ) =	*997*	*kg/m^3*	*Viscosidad cinemática (v)=*	*8.94E-07*	*m^2/s*
Peso específico (ɣ)=	*9.78*	*kN/m^3*	*Viscosidad dinámica (η)=*	*8.91E-04*	*Pa.s*
Presión de vapor (Pvp) =	*3.29*	*kPa*	*Presión estática absoluta (Psp) =*	*100.5*	*kPa*
Carga de Pvp (hpv) =	*0.336*	*m*	*Carga de presión absoluta (hsp) =*	*10.276*	*m*
Diferencia de elevación (hs) =	*3*	*m*			
Tuberia 1: Succión			***Tuberia 2: Descarga***		
Diámetro interno (D) =	*0.0674*	*m*	*Diámetro interno (D) =*	*0.0525*	*m*
Rugosidad promedio (ε) =	*3.0E-07*	*m*	*Rugosidad promedio (ε) =*	*3.0E-07*	*m*
Longitud (L) =	*5*	*m*	*Longitud (L) =*	*5*	*m*
Área (A) =	*3.57E-03*	*m^2*	*Área (A) =*	*2.16E-03*	*m^2*
D/ε =	2.25E+05		*D/ε =*	1.75E+05	
L/D =	74.1839763		*L/D =*	95.23809524	
Velocidad de flujo =	1.01	*m/s*	*Velocidad de flujo =*	1.66	*m/s*
Carga de velocidad =	0.0519	*m*	*Carga de velocidad =*	0.141	*m*
Numero de Reynolds =	7.61E+04		*Número de Reynolds =*	9.77E+04	
Factor de fricción (f) =	0.0190		*Factor de fricción (f) =*	0.0180	
Accesorios y tuberia de succión			***Pérdidas de energia en la descarga***		
Entrada a la succión:K1 =	0.5		Salida de la descarga: K2 =	0	
Perdidas en la suc: L/D =	74.184		Perd. Mayores descarga: L/D =	95.238	
2 Codos de 90º: Le/D =	60		Codo de 90º :Le/D =	30	
Válvula de globo: Le/D =	150		Elemento 2:Le/D =		
Elemento 3: Le/D =			Elemento 3:Le/D =		
Elemento 4: Le/D =			Elemento 4:Le/D =		
Sumatoria Le/D =	210		Sumatoria Le/D =	30	
Perdidas de energia en la succión			***Perdidas de energia en la descarga***		
hLs =	0.305	m	hLd =	0.317	m
			RESULTADOS		
			Pérdida total de energía (hLtot) =	0.623	m
			Carga total de la bomba hA =	5.764	m
			Potencia entregada al fluido (Pa) =	0.20	kW

Nota. Elaboración propia

La carga total de la bomba se obtiene a partir de la ecuación de la energía.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + h_A - h_f = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad \textbf{Ec. 12}$$

Considerando P_1=0; P_2=0 y V_1=0, se obtiene:

$$h_A = (Z_2 - Z_1) + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad \textbf{Ec. 13}$$

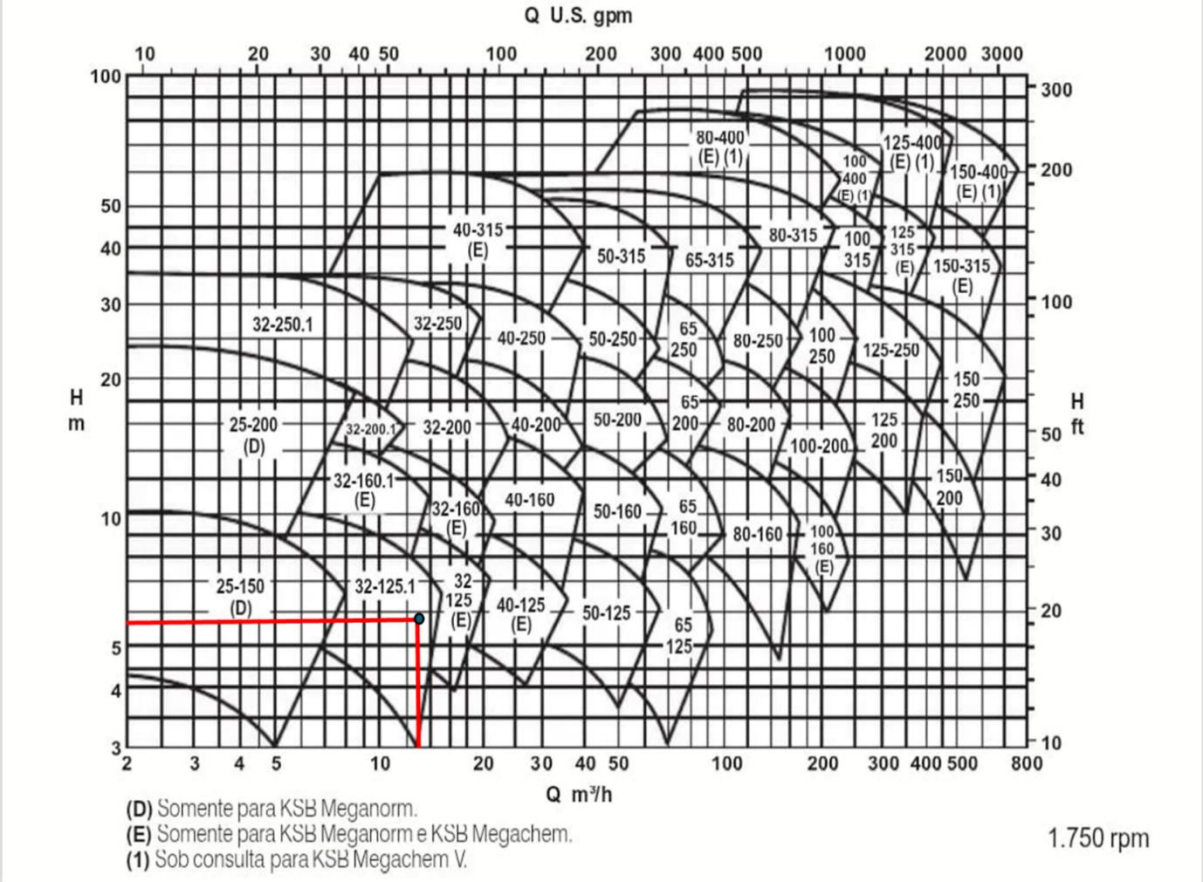
De la matriz de cálculo se obtiene que h_A

$$h_A = 5.764 \text{ mca}$$

Como se observa en la Figura 13, con el valor de h_A y el caudal = 12.96 m^3/h se eligió el diagrama de calificación compuesta para una línea de bombas centrifugas.

Figura 13

Diagrama de calificación compuesta para una línea de bombas centrifugas

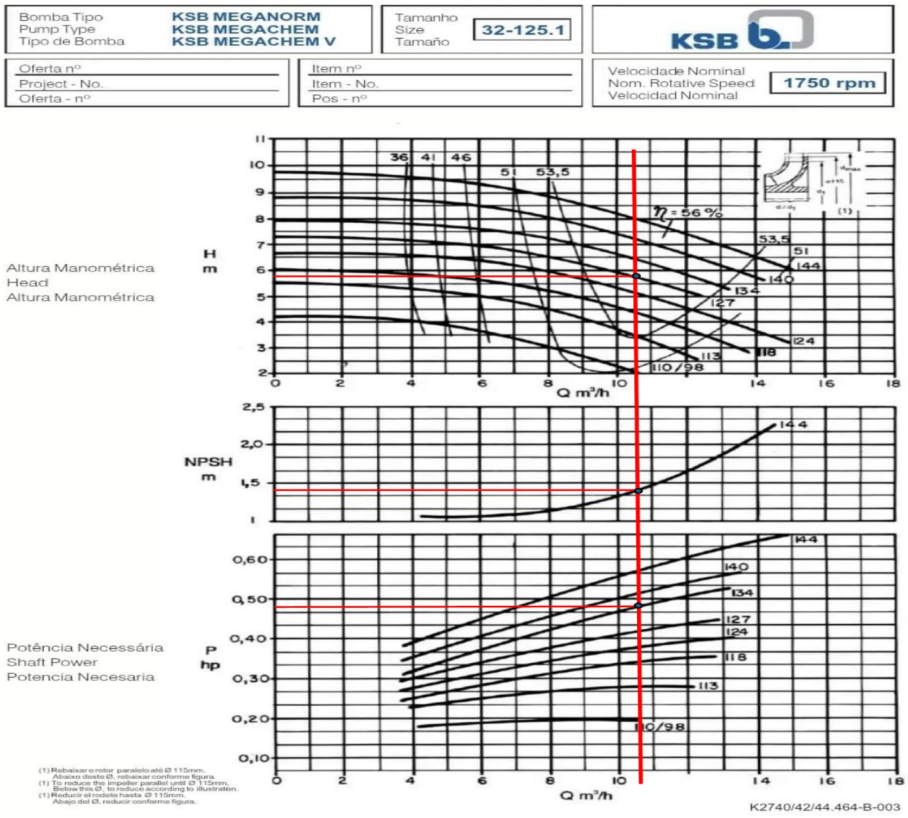


Nota. Tomado de (KBS, 2013)

Se obtuvo que, para una cara total de la bomba y el caudal propuesto, la familia de bombas más adecuada es la 32-125.1 que opera a 1750 rpm de la marca KBS. En la Figura 14 se presenta los diagramas de Eficiencia, Carga Positiva Neta requerida ($NPSH_R$) y potencia de la bomba.

Figura 14

Curvas específicas de la familia de bombas 32-125.1



Nota. Tomado de (KBS, 2013).

En la Tabla 16 se presenta los valores obtenidos de cada grafica

Tabla 16

Valores obtenidos en gráficas

Parámetro	Resultado	Unidad en SI
h_A	5.623	m
Q	12.96	m^3/h
Eficiencia	53.5	%
Diámetro de impulsor	134	mm
Potencia	0.5	HP
$NPSH_R$	1.37	m

Nota. Elaboración propia

Para determinar la carga de succión positiva neta disponible ($NPSH_A$) se tiene la siguiente ecuación:

$$\mathrm{NPSH_A} = \mathrm{h_{sp}} \pm \mathrm{h_s} - \mathrm{hf} - \mathrm{h_{vp}} \quad \mathbf{Ec.14}$$

Los datos de h_{sp}, h_s, h_f y h_{vp} se muestran en La Tabla 17. Cabe destacar que el valor de h_s es negativo debido a que la bomba está por encima del depósito.

Tabla 17

Valores para determinar $NPSH_A$

Parámetro	Resultado	Unidad en SI
Carga de presión estática (h_{sp})	10.276	m
Diferencia de elevación (h_s)	3	m
Perdidas de carga en tubería de succión h_f	0.305	m
Carga de presión de vapor h_{vp}	0.336	m

Nota. Elaboración propia

Reemplazando tenemos que el valor de la carga de succión positiva disponible es:

$$\mathrm{NPSH_A} = (10.276 - 3 - 0.305 - 0.336)\ \mathrm{m}$$

$$\mathbf{NPSH_A = 6.635\ m}$$

Se exige una diferencia entre la $NPSH_A$ y la $NPSH_R$ mínima del 10 por ciento, es decir:

$$\mathrm{NPSH_A} > 1.10\ \mathrm{NPSH_R} \quad \mathbf{Ec.15}$$

$$\frac{\mathrm{NPSH_A}}{1.10} > \mathrm{NPSH_R} \rightarrow \frac{6.635}{1.10} > 1.37$$

$$\mathbf{6.03 > 1.37}$$

Se acepta la bomba de 0.5 HP debido que su $NPSH_R$ es menor a la $NPSH_A$.

Anexo 8. Remoción de parámetros que no cumplen con la NTON 0.5 027-05

Filtro Hidrociclón

- Sólidos suspendidos totales (SST)

$$42.11 * 90\% = 37.899$$

Cantidad sin remover

$$42.11 - 37.899 = \mathbf{4.21}\ {}^{\mathbf{mg}}/_{\mathbf{L}}$$

- Turbidez (UNT)

$$176.2 * 46\% = 81.581$$

Cantidad sin remover

$$176.2 - 81.581 = \mathbf{96.619\ UNT}$$

Tanque de Regulación

- Sólidos Suspendidos Totales (SST)

$$4.21 * 50\% = 2.105$$

Cantidad sin remover

$$4.21 - 2.105 = \mathbf{2.105}\ {}^{\mathbf{mg}}/_{\mathbf{L}}$$

- Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO_5)

$$29.60 * 40\% = 11.84$$

Cantidad sin remover

$$29.60 - 11.84 = \mathbf{17.76}\ {}^{\mathbf{mg}}/_{\mathbf{L}}$$

- Turbidez (UNT)

$$94.619 * 82.90\% = 78.439$$

Cantidad sin remover

$$94.619 - 78439 = \mathbf{16.180\ UNT}$$

Universidad Nacional de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARÁUZ PALACIOS

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 2

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	702C5837		
NOMBRE	VELASQUEZ LOPEZ LENIA PATRICIA		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN DE ÁREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA		
CARRERA	Ingeniería Química		
TURNO	Diurno	**SEXO**	F
AÑO MATRICULADO	6	**GRUPO**	6T1-QUI-R
SIT. ESC	REINGRESO	**AÑO ING. EDUC. SUP**	2020

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	6T1-QUI-	FORMAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en https://singu.setec.edu.ni/

Correo:
Clave:

FECHA: 23/07/2026 09:16:17

Creado Por: 702C5837
Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:
- **-- Ciencias de la Salud: 21 de JULIO, 2026**
- **-- PRESENCIAL: LUNES 27 DE JULIO, 2026**
- **-- SABATINO: SÁBADO 25 DE JULIO**
- **-- DOMINICAL: DOMINGO 26 DE JULIO, 2026**

Universidad Nacional de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARÁUZ PALACIOS

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 2

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6BCC4555		
NOMBRE	RAMIREZ CORDOBA KEVIN DE JESUS		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN DE ÁREA DE CONOCIMIENTO DE AGRICULTURA		
CARRERA	Ingeniería Química		
TURNO	Diurno	**SEXO**	M
AÑO MATRICULADO	6	**GRUPO**	6T1-QUI-R
SIT. ESC	REINGRESO	**AÑO ING. EDUC. SUP**	2020

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	6T1-QUI-	FORMAS DE CULMINACION DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en https://singu.setec.edu.ni/

Correo:
Clave:

FECHA: 23/07/2026 09:54:41

Creado Por: 6BCC4555
Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:
- **-- Ciencias de la Salud: 21 de JULIO, 2026**
- **-- PRESENCIAL: LUNES 27 DE JULIO, 2026**
- **-- SABATINO: SÁBADO 25 DE JULIO**
- **-- DOMINICAL: DOMINGO 26 DE JULIO, 2026**