

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL PROCESO DE
LAVADO DE FILTROS DE EPSEL S. A. LAMBAYEQUE
PARA SU APROVECHAMIENTO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR

DANNY FLORENTINO DAMIAN CHAFLOQUE

ASESORA

Ing. DIANA PECHE CIEZA

Chiclayo, 2019

DEDICATORIA

Esta tesis de investigación la dedico a

María Chafloque Santisteban, mi madre, por su esfuerzo y apoyo incondicional que me motivan día tras día en salir adelante y no desviarme del camino correcto.

Flavia Zulema, por su gran amor leal y sus oraciones en favor de mi bienestar.

AGRADECIMIENTOS

A Jehová Dios, quien mediante su guía me brinda su ayuda a tomar decisiones sabias en mi vida.

A la Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo y a los docentes quienes compartieron sus experiencias, necesarias para mi formación profesional. Especialmente a las ingenieras: Diana Peche Cieza y María Luisa Espinoza García Urrutia, por el asesoramiento y apoyo.

Al Ingeniero Miguel Fanzo Niquén, por proporcionar la información para esta investigación.

RESUMEN

Las estaciones de servicio de saneamiento generan grandes cantidades de aguas residuales producto del lavado de sus filtros que representan pérdidas económicas para las mismas por su vertimiento y sin un tratamiento previo. La planta N° 02 EPSEL Lambayeque, utiliza aproximadamente 420 m³/día de agua para limpieza de sus filtros. Este efluente es desechado al dren Eureka, representando costos por pérdida en venta de agua y posibles multas por contaminación. La presente investigación tiene por objetivo proponer un sistema de tratamiento para reutilizar el agua de lavado y aprovecharla en el consumo humano. Por ello se caracterizó parámetros relevantes de su composición a través de análisis fisicoquímico y microbiológico. Los resultados fueron: pH: 7,80; DBO₅: 8,07 mg/l; Aluminio Residual 0,45; Turbidez 525 NTU; Sólidos Sedimentables totales (SST): 4 500 mg/l; Coliformes Termotolerantes: 480 UFC/100 ml y Coliformes fecales: 120 UFC/100 ml, los cuales se encuentran fuera de los estándares de calidad para su potabilización con un tratamiento convencional con excepción del pH. Luego se seleccionó Ultrafiltración como el tratamiento avanzado más idóneo por la composición del agua a partir de factores como costo en tecnología, flujo, consumo de energía y calidad de agua. El sistema cuenta con procesos de sedimentación, coagulación floculación y sedimentación secundaria que permiten obtener agua de calidad, lo que se traduce en aumento en venta de agua potable y evitar costos por sanciones. Finalmente, el análisis costo beneficio, demostró la rentabilidad económica del proyecto indicando que por cada dólar invertido se genera \$. 0,101.

Palabras claves: Sistema de Tratamiento, Ultrafiltración, Estándares de Calidad.

ABSTRACT

Sanitation service stations generate large amounts of water from the washing of their filters, which represent economic losses for them due to their dumping without prior treatment. Plant N° 02 Epsel Lambayeque, uses approximately 420 m³/day of water for cleaning its filters. Water that is then discarded to drain Eureka, representing costs for loss in water sale and possible fines for contamination. The objective of this research is to propose a treatment system to reuse the washing water and take advantage of it for human consumption. For this reason, the relevant parameters of its composition were characterized through physicochemical and microbiological analysis. The results were: pH: 7,80; DBO (5): 8,07 mg/l; residual aluminum 0,45; turbidity 525 NTU; total sedimentable solids (SST): 4 500 mg/l; thermotolerant coliforms: 480 CFU/100 ml and fecal coliforms: 120 CFU/100 ml, which are outside the quality standards for their purification with a conventional treatment exception of pH. Then the ultrafiltration treatment was selected as the most suitable advanced treatment for the composition of water from factors such as cost in technology, flow, energy consumption and water quality. The system has sedimentation processes, flocculation coagulation and secondary sedimentation that allow obtaining quality water, which translates into an increase in the sale of drinking water and avoid costs due to sanctions. Finally, the cost-benefit analysis showed the economic profitability of the project, indicating that for every dollar invested, is generated \$ 0.101.

Keywords: Treatment System, Ultrafiltration, Quality Standards.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
I. INTRODUCCIÓN	12
II. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 ANTECEDENTES	14
2.2 BASE TEÓRICA.....	19
2.2.1 Agua residual.....	19
2.2.2 Parámetros del agua	20
2.2.3 Tratamiento de agua residual de lavado.....	22
2.2.4 Estación de tratamiento de agua potable	23
2.2.5 Tecnologías de tratamiento avanzado de aguas residuales	24
2.2.6 Distribución de plantas.....	25
2.2.7 Marco legal.....	26
III. RESULTADOS	30
3.1 CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS A REDUCIR EN EL AGUA RESIDUAL	30
3.1.1 La empresa	30
3.1.2 Etapa de filtrado	35
3.2 EVALUAR DIFERENTES TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES PARA IDENTIFICAR EL SISTEMA MÁS IDÓNEO PARA SU APROVECHAMIENTO	59

3.2.1	Tecnología de tratamiento	59
3.2.2	Factores de ponderación	66
3.2.3	Confrontación de factores ponderados	73
3.3	PROPUESTA DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA SU APROVECHAMIENTO.....	78
3.3.1	Pronóstico del efluente	78
3.3.2	Área disponible para la instalación de sistema de tratamiento.....	81
3.3.3	Gasto del efluente	84
3.3.4	Proceso del sistema de tratamiento propuesto.....	84
3.3.5	Balance de materia	89
3.3.6	Indicadores de rendimiento de capacidad de planta.....	104
3.3.7	Plano de ubicación de planta de tratamiento de agua de lavado de filtros.....	106
3.3.8	Plano de planta de tratamiento	107
3.3.9	Sistema de tratamiento	108
3.3.10	Distribución de planta	128
3.4	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	131
3.4.1	Costo de inversión	131
3.4.2	Costo por sanciones.....	141
3.4.3	Costos del sistema de tratamiento	144
3.4.4	Análisis costo beneficio	146
IV.	CONCLUSIONES	149
V.	RECOMENDACIONES	150
VI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151
VII.	ANEXOS.....	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01. Tipos de aguas residuales	19
Tabla N° 02. Requisitos de aguas destinadas a la producción potable	26
Tabla N° 03. Límites máximos permisibles de calidad agua de consumo humano	27
Tabla N° 04. Multa por infracción expresado en UIT.....	28
Tabla N° 05. Producción de agua potable planta N° 2 desde abril 2017 – abril 2018 en m ³ ...	31
Tabla N° 06. Características de ingreso y salida de agua en PTAP N° 02	34
Tabla N° 07. Medidas de unidad de filtro	36
Tabla N° 08. Resumen - agua usada en lavado de filtros / día.....	39
Tabla N° 09. Control operativo de lavado de filtros periodo abril 2017 – abril 2018 en m ³ ...	41
Tabla N° 10. Tarifa Epsel S. A. por venta de agua potable	42
Tabla N° 11. Pérdida económica por m ³ de agua residual año 2017 - 2018.....	43
Tabla N° 12. Resultado de análisis fisicoquímicos de agua de lavado de filtros.....	47
Tabla N° 13. Resultado de análisis microbiológico	48
Tabla N° 14. Estándares de calidad- aguas destinada a producción de agua potable - A2	49
Tabla N° 15. Estándares de calidad - aguas destinada a la producción de agua potable - A3 .	50
Tabla N° 16. Comparación análisis microbiológico vs ECAS aguas a ser potabilizadas A3 ..	51
Tabla N° 17. Comparación de análisis fisicoquímico agua lavado vs LMP de agua potable ..	53
Tabla N° 18. Comparación de resultados de análisis microbiológico vs LMP.....	54
Tabla N° 19. Resumen de parámetros a reducir de agua de lavado	55
Tabla N° 20. Rendimiento de separación de microfiltración	60
Tabla N° 21. Datos de tratamiento de agua superficial con microfiltración	61
Tabla N° 22. Rendimiento de separación ultrafiltración.....	62
Tabla N° 23. Rendimiento de separación nanofiltración	63
Tabla N° 24. Rendimiento de separación de ósmosis inversa.....	64
Tabla N° 25. Parámetros de funcionamiento para sistemas de ósmosis inversa.....	65
Tabla N° 26. Remoción de contaminantes por tratamiento	66
Tabla N° 27. Costo de tecnología según tratamiento	68
Tabla N° 28. Desechos generados por tecnología.....	69
Tabla N° 29. Capacidad de flujo según tratamiento.....	70
Tabla N° 30. Área de terreno requerido para instalación de planta	71
Tabla N° 31. Energía empleada por tratamiento	71

Tabla N° 32. Recuperación de agua según tipo de tratamiento	72
Tabla N° 33. Costo de mano de obra y mantenimiento	73
Tabla N° 34. Análisis de factores ponderados	74
Tabla N° 35. Nivel de calificación	75
Tabla N° 36. Análisis de factores ponderados para la elección de tratamiento	76
Tabla N° 37. Pronóstico de agua de lavado de filtros generado en los años 2019-2023	80
Tabla N° 38. Medidas de equipos de planta N° 02 Epsel - Lambayeque	82
Tabla N° 39. Remoción de sedimentación primaria	89
Tabla N° 40. Desechos generados por el tratamiento en las diferentes etapas	102
Tabla N° 41. Resultado de tratamiento agua de lavado y LMP agua potable.....	103
Tabla N° 42. Caudal mínimo y máximo para sistema de tratamiento.....	108
Tabla N° 43. Norma técnica peruana características de tuberías PVC	109
Tabla N° 44. Dimensiones de presedimentador	117
Tabla N° 45. Especificaciones de floculador	120
Tabla N° 46. Dimensiones de clarificador	123
Tabla N° 47. Parámetros de equipo de ultrafiltración.....	127
Tabla N° 48. Ecuación de superficies para cálculo de áreas.....	128
Tabla N° 49. Método guerchet - Distribución de planta de tratamiento	129
Tabla N° 50. Costos de trabajos preinstalación de equipos \$	132
Tabla N° 51. Costo de obras de concreto \$.....	132
Tabla N° 52. Costo de equipos del tratamiento \$.....	133
Tabla N° 53. Costo de accesorios de tratamiento \$.....	134
Tabla N° 54. Costo de mantenimiento de planta de tratamiento de agua del lavado.....	136
Tabla N° 55. Repuestos de equipos utilizados en mantenimiento	138
Tabla N° 56. Inversiones intangibles para el sistema de tratamiento \$.....	138
Tabla N° 57. Capital de trabajo.....	139
Tabla N° 58. Inversión para el tratamiento del agua de lavado de filtros	140
Tabla N° 59. Costos de sueldos de trabajadores de planta.....	141
Tabla N° 60. Sanciones y multas por vertimiento.....	142
Tabla N° 61. Criterios para calificar infracciones.....	142
Tabla N° 62. Costos por multas \$	143
Tabla N° 63. Costo uso de agua potable en limpieza de filtros de los próximos 4 años.....	144
Tabla N° 64. Costo de consumo de energía \$	145
Tabla N° 65. Costo por m ³ de agua tratada.....	145

Tabla N° 66. Costo por insumo	146
Tabla N° 67. Análisis costo beneficio de la propuesta.....	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Diagrama de bloques del proceso productivo de agua potable	33
Figura N° 2. Esquema de filtro convencional	36
Figura N° 3. Proceso de retrolavado de filtros	40
Figura N° 4. Esquema de planta donde se tomó la muestra de agua de lavado de filtros.....	45
Figura N° 5. Comportamiento de agua residual periodo abril 2017- abril 2018.....	78
Figura N° 6. Medida de equipos con vista satelital.....	83
Figura N° 7. Diagrama de bloques del proceso de tratamiento agua de lavado.....	87
Figura N° 8. Diagrama de operación de proceso del sistema propuesto.....	88
Figura N° 9. Resumen de balance de materia etapa de sedimentación	93
Figura N° 10. Resumen de balance de materia - coagulación floculación.....	95
Figura N° 11. Resumen balance de materia de etapa sedimentación.....	98
Figura N° 12. Resumen de balance de materia de etapa de ultrafiltración	101
Figura N° 13. Ficha técnica del equipo bomba	113
Figura N° 14. Rendimiento de bomba centrífuga	114
Figura N° 15. Dimensiones de bomba centrífuga	115
Figura N° 16. Ficha técnica del sedimentador primario.....	118
Figura N° 17. Descripción de floculador de tubos	120
Figura N° 18. Descripción de floculador	121
Figura N° 19. Ficha técnica de clarificador de flujo pequeño.....	124
Figura N° 20. Descripción del clarificador	125
Figura N° 21. Equipo de ultrafiltración UF	127

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, durante la operación de las estaciones de tratamiento de agua se produce gran cantidad de aguas residuales, particularmente del lavado del filtro. Se estima que la cantidad de esta agua de lavado representa el 10% del agua producida por la planta de tratamiento. Al aumentar la población mundial y la escasez de agua en muchos países, el agua de lavado de filtros se puede utilizar como una fuente de agua permanente hasta que la planta potabilizadora de agua esté funcionando. Hasta el momento, la mayoría de las PTAP¹ descargan sus aguas de lavado de filtro en estanques de evaporación, drenes pluviales o sistemas de alcantarillado municipal [1].

Según OEFA [2], aproximadamente el Perú produce 2 217 946 m³/día de aguas residuales que se descargan a la red de alcantarillado de las estaciones prestadoras de servicio de saneamiento y solamente el 32% recibe tratamiento. El MVCS² afirma que los servicios de agua y saneamiento son insostenibles por insuficiente inversión, graves problemas económicos de los operadores, falta de apoyo estatal y normas legales inadecuadas [3]. Por otro lado, existe un mal uso del agua potable como lo señala GSAGUA³: “En Lima, 800 000 ciudadanos carecen del servicio de Agua Potable. Mientras tanto los municipios emplean este recurso para el riego de sus parques y jardines. Villa María del Triunfo y Breña lo usan para la totalidad de sus áreas verdes. El gasto de agua potable para uso en riego de parques continúa en nuestro país, y no existe ley que controle su uso” [4].

En el distrito de Lambayeque, la entidad encargada del servicio de saneamiento es EPSEL S. A. empresa que cuenta con 28 estaciones de tratamiento de agua potable [5] a nivel departamental, de las cuales en ninguna realiza tratamiento a sus efluentes producto del tratamiento del agua potable. Estos vertimientos normalmente son enviados a drenes pluviales y alcantarillado.

El estudio se desarrolló en la PTAP N°2 - EPSEL S. A. Lambayeque. Como producto del tratamiento de agua potable, genera diferentes corrientes de aguas residuales, entre ellas agua usada en el lavado de filtros para remover lodos acumulados en estos (420

¹ PTAP. - Planta de tratamiento de agua potable

² MVCS. - Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.

³ GSAGUA. - Gestión sostenible del agua de la Universidad “La Molina”.

m³/día). Su destino es la cámara de lodos de la planta y luego, su vertimiento al dren N° 1468 alterando el ecosistema.

Generar el vertimiento de las aguas de lavado de filtros de la PTAP y no darle un tratamiento equivale a pérdida de dinero y pérdida del recurso debido a que esta agua presenta características que indican puede ser tratada con tecnología avanzada para beneficio económico de la empresa, ser humano y medio ambiente.

Esto llevó a plantear el siguiente problema: ¿cuál es el tratamiento que requieren las aguas residuales provenientes del lavado de filtros de la planta de tratamiento de agua potable y que beneficios económicos producen su aprovechamiento?

El objetivo principal de esta investigación fue proponer un sistema de tratamiento de las aguas residuales de lavado de los filtros de la planta de tratamiento de agua potable N° 02 EPSEL S. A. Lambayeque para su aprovechamiento. Para ello se formularon como objetivos específicos: caracterizar los parámetros relevantes a reducir de las aguas residuales, luego se evaluó en base a los parámetros relevantes, las diferentes tecnologías de tratamientos de aguas residuales para identificar el apropiado. Después se diseñó un sistema de tratamiento para el aprovechamiento del agua de lavado y, por último, se realizó el análisis costo beneficio de la propuesta.

El conocimiento amplio del problema fue vital para la presente investigación ya que si bien es cierto no existen indicios de tratamiento de agua de lavado de filtros en nuestro país, su implementación en las PTAP mejorara la eficiencia de la producción. Por lo que un sistema de tratamiento para el aprovechamiento de estas aguas residuales generaría un beneficio económico a favor de la empresa y una reducción de sus desechos. Además, el detalle del análisis fisicoquímico del agua residual permitió conocer la calidad del efluente y su cumplimiento con los estándares de calidad (ECAS) y límites máximos permisibles (LMP), apoyando a solucionar el problema que presenta EPSEL S. A. Lambayeque Planta N° 02.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

M. Mahdavi *et al.* [6] en su investigación: “*Datos sobre el tratamiento del agua de retrolavado filtrante por sedimentación, coagulación y ultrafiltración*” informa acerca del método práctico utilizado para la reutilización de agua de retrolavado de los filtros (SFBW) de la planta de tratamiento de agua potable ubicada en Isfahán, a través de diferentes métodos que incluyen sedimentación previa, coagulación, floculación, segunda clarificación, ultrafiltración y el retorno del agua tratada al comienzo de la planta potabilizadora. Además, se investigaron dos coagulantes de Cloruro Férrico de Polialuminio (PAFCL) y cloruro férrico (FeCl_3) respecto a su rendimiento en la calidad del agua tratada. La cantidad de coagulante de PAFCL y FeCl_3 fue de 10 y 30 mg/l respectivamente y se realizó a pH de 8,30. Como resultados se logró remoción de turbidez en un 99,24 % y aluminio residual 95%. Además, un pH de 7,10. Los datos obtenidos indicaron que el agua potable se puede producir a partir de SFBW mediante la aplicación de un proceso de coagulación híbrida-UF, especialmente cuando se usa PAFCL como coagulante. El artículo colaboró en esta investigación mediante la información del beneficio de usar FeCl_3 como coagulante en reducir parámetros importantes como Aluminio o Turbidez, características destacadas en agua de retrolavado de filtro y que el FeCl_3 tiene ventaja de remoción en comparación con otros coagulantes.

M. Mahdavi *et al.* [6] in their research: “*Dataset on the spent filter backwash water treatment by sedimentation, coagulation and ultrafiltration*” inform about the practical method used for the reuse of water backwash filters (SFBW) of the water treatment plant potable water located in Isfahan, through different methods that include previous sedimentation, coagulation, flocculation, second clarification, ultrafiltration and the return of treated water at the beginning of the water treatment plant. In addition, two coagulants of Polyaluminium Ferric Chloride (PAFCL) and ferric chloride (FeCl_3) were investigated with respect to their performance in the quality of the treated water. The amount of coagulant of PAFCL and FeCl_3 was 10 and 30 mg/l respectively and was carried out at a pH of 8,30. As a result, turbidity removal was achieved in 99,24% and residual aluminum 95%. In addition, a pH of 7,10. The data obtained indicated that drinking water can be produced from SFBW through the application of a hybrid-

UF coagulation process, especially when PAFCL is used as a coagulant. The article collaborated in this investigation through the information of the benefit of using FeCl_3 as a coagulant in reducing important parameters such as Aluminum or Turbidity, outstanding characteristics in water of backwash of filter and that FeCl_3 has the advantage of removal in comparison with other coagulants.

M. Shafiqzaman *et al.* [7] en su investigación "*Aplicación de un filtro cerámico de bajo costo para reciclar agua de lavado de filtro de arena*" explica el proceso de tratamiento de agua de retrolavado a través de un filtro cerámico, con un tamaño de poro de 1-5 μm , fabricado con materiales tierra arcillosa y salvado de arroz junto a los procesos de coagulación y floculación. El valor del pH fue neutral con un valor promedio de 7,2. La turbidez promedio de 516 NTU, Fe 60 mg/l y Mn 5,5 mg/l. Las muestras de agua de retrolavado fueron tomadas de la planta de tratamiento ubicada en la ciudad de Buraidah, en Arabia Saudita. Se realizó el pretratamiento de coagulación y floculación antes de la separación de la membrana para agrandar los floculantes y mitigar incrustaciones en la membrana. Los resultados demostraron que 20 mg/l de alumbre es la dosis adecuada para la eliminación de turbidez hasta un 70% y Fe y Mn hasta un 99%. El filtro se puede operar a una presión transmembrana de 0, 60 y 3 kPa, así como a un flujo de 480 a 2 000 l/m² diarios. La cerámica en el proceso de filtración sería una buena opción para reducir costos y reciclar agua de retrolavado de filtros. Este artículo colaboró en este trabajo de investigación en informar acerca de la necesidad de un pretratamiento del agua residual antes de su ingreso al filtro de membrana para aumentar el tiempo de vida de éste.

M. Shafiqzaman *et al.* [7] in his research "*Application of a low cost ceramic filter for recycling sand filter backwash water*" explains the process of backwash water treatment through a ceramic filter, with a pore size of 1-5 μm , made with clay-earth materials and rice bran together with the coagulation and flocculation processes. The pH value was neutral with an average value of 7,2. The average turbidity of 516 NTU, Fe 60 mg/l and Mn 5,5 mg/l. The backwash water samples were taken from the treatment plant located in the city of Buraidah, in Saudi Arabia. The coagulation and flocculation pretreatment were carried out before the separation of the membrane to enlarge the flocculants and mitigate incrustations in the membrane. The results showed that 20 mg/l of alum is the appropriate dose for the elimination of turbidity up to 70%

and Fe and Mn up to 99%. The filter can be operated at a transmembrane pressure of 0, 60 and 3 kPa, as well as a flow of 480 to 2000 l/m² daily. The ceramic in the filtration process would be a good option to reduce costs and recycle water backwash filters. This article collaborated in this research work in informing about the need of a pretreatment of the residual water before its entrance to the membrane filter to increase the life of it.

Según M. Mahdavi *et al.* [1] en su investigación “*Eliminación de metales, metales pesados y microorganismos del agua de retrolavado del filtro gastado mediante procesos de coagulación híbrida-UF*” se evaluó las concentraciones de Fe, Al, Pb, As, Cd y coliformes totales y fecales del agua de retrolavado cruda y tratada de los filtros. Se determinó que la combinación entre sistema de membrana filtrante y procesos químicos o físicos, como la coagulación y la sedimentación mejora la eficiencia de la ultrafiltración que actúa como una barrera efectiva contra los microorganismos, las partículas suspendidas y los coloidales. La coagulación con PAFCL y FeCl₃ se realizó con un pH natural de 8,30 en agua de retrolavado. La dosis predeterminada de PAFCL 15 mg/l y FeCl₃ 40 mg/l se añadieron continuamente a la unidad de mezcla rápida. La velocidad fue de 80 RPM y el tiempo de retención hidráulica 6 minutos. La membrana UF estaba hecha de polipropileno de fibra hueca, con un tamaño de poro nominal de 0,01 – 0,20 µm, el área total de la membrana UF fue de 0,10 m² por módulo. El módulo UF se operó en modo sin salida con filtración constante de aproximadamente 8 l/m²*h a una presión transmembrana de 300 Pa. El ciclo de filtración fue de 60 minutos y 1 minuto de retrolavado con permeado en la dirección inversa. Como resultado, el agua de retrolavado tratada con el proceso de membrana de coagulación - UF era incoloro y tenía una turbidez de 0,10 NTU, y 100% de remoción de coliformes totales y coliformes fecales. Además, todas las concentraciones de metales y metales pesados cumplieron con las directrices de la EPA⁴. La concentración de Hierro y Aluminio en el agua tratada fue de 0,02 mg/l ± 0,01 mg/l y 0,12 mg/l ± 0,01 mg/l con FeCl₃ y 0,046 mg/l ± 0,02 mg/l y 0,031 mg/l ± 0,01 mg/l con PAFCL. El artículo apoya la investigación en la elección del tipo de tratamiento de mayor eficiencia para el agua residual de lavado de filtros, pues demuestra la capacidad de la ultrafiltración en la eliminación de microorganismos patógenos.

⁴ EPA. - Environmental Protection Agency EE. UU (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)

N. Yamaguchi *et al.* [8] en su investigación “*Sistema de microfiltración gravitacional híbrido para la purificación de agua*” evaluó el sistema gravitacional propuesto para la mejora de la calidad de la calidad agua destinada al consumo humano a través de los parámetros: flujo permeado, pH, remoción de *Escherichia coli*, color, turbidez y la remoción de cloro libre. Para el tratamiento se utilizó una membrana polimérica combinada con carbón activado granular impregnado con nanopartículas de óxido de cobre. La metodología usada fue la utilización de técnicas instrumentales para caracterizar el sistema como adsorción de N₂ a 77K, microscopía electrónica de barrido, microscopía electrónica de transmisión y análisis de espectroscopia de rayos-x por dispersión en energía. Los resultados obtenidos fueron mayores retiros de cloro, y también mayor flujo permeado, además de mayor eliminación de *Escherichia coli*. Este artículo colaboró en esta investigación demostrando que el carbón activado es una de las tecnologías indicadas a tener en cuenta en la posibilidad de utilizarla como tratamiento para la purificación del efluente que se está tratando.

Según H. Fouad *et al.* [9] en su investigación “*Reutilización de agua de retrolavado de filtro perdido*” cuyo objetivo principal fue evaluar la posibilidad de volver a reutilizar agua residual proveniente del lavado de filtros introduciéndola con agua bruta para tratamiento. La investigación se realizó en la planta de tratamiento de agua potable “El Giza” que se encuentra en Giza ciudad de Egipto. La metodología utilizada fue uso de 6 pruebas de jarras Analizando científicamente el agua de retrolavado de filtros y mezclarla con agua bruta en diferentes proporciones (de 10% a 50%) después de cada prueba. Los resultados obtenidos mostraron que la mejor relación de mezcla fue del 40% agua de retrolavado al 60% agua bruta debido a que los resultados fueron 93,32% al 94,8% de eficiencia de remoción de turbidez. Además, se utilizó una dosis de alumbre entre 15 a 20 mg/l. Esta investigación permitió conocer que es posible recircular el agua tratada recirculándola nuevamente al tren de tratamiento de agua potable, sin embargo, la calidad del efluente y las normas vigentes en el país son factores que se debe tener en cuenta para determinar esta opción.

According to H. Fouad *et al.* [9] in his research "*Reuse of water from backwashing of stray filter*" whose main objective was to evaluate the possibility of reusing residual water from the washing of filters by introducing it with raw water for treatment. The research was conducted in the drinking water treatment plant "El Giza" which is located in Giza city of Egypt. The methodology used was the use of 6 jar tests. Scientifically analyzing the backwash water of filters and mixing it with raw water in different proportions (from 10% to 50%) after each test. The results obtained showed that the best mixing ratio was 40% backwash water at 60% gross water because the results were 93,32% at 94,8% turbidity removal efficiency. In addition, an alum dose was used between 15 to 20 mg/l. This investigation allowed to know that it is possible to recirculate the treated water recirculating it back to the train of potable water treatment, however, the quality of the effluent and the regulations in force in the country are factors that must be considered to determine this option.

2.2 BASE TEÓRICA

2.2.1 Agua residual

Se le atribuye el nombre “aguas residuales” a aquellas cuya composición ha sido modificada por actividades humanas y debido a ello requieren ser tratadas antes de su reutilización, vertimiento a cuerpos naturales de agua o descargadas a sistemas de alcantarillado. [2]

2.2.1.1 Tipos de agua residual

El tipo de agua residual, su calidad y cantidad se clasifican por factores como comportamiento, estilo y nivel de vida de habitantes o industrias. La influencia del diseño del sistema de alcantarillado afecta a gran escala en su composición. países del primer mundo usan sistemas de alcantarillado separados donde agua de lluvia fluye en zanjias, canales y tuberías. Con mucha frecuencia las aguas residuales son descargadas a cuerpos de agua sin tratamiento previo. [10]

La tabla siguiente N° 01 presenta la clasificación de aguas residuales según su procedencia.

Tabla N° 01. Tipos de aguas residuales

Urbanas	Plantas de tratamiento
Domésticas	Sobrenadante de espesor
De instituciones	sobrenadante de digestores
Industriales	Agua de rechazo-deshidratación de lodos
Infiltración en sistema de alcantarillado	drenajes de lechos de secado de lodos
Pluviales	Agua drenada -lechos de secado de lodos
Lixiviados	Agua de limpieza de Filtros
De fosa séptica	Aguas de limpieza de equipos

Fuente: IWA Publishing, London. [10]

El agua de limpieza de filtros pertenece al tipo de aguas residuales generadas internamente en planta de tratamiento así como lo indica la tabla N° 01.

2.2.1.2 Agua de lavado de filtros

Agua de retrolavado del filtro es el agua residual producida como resultado del proceso de limpieza del filtro (lavado a contracorriente) en una PTAP y generalmente representa el 2 - 10% de la producción de PTAP.

2.2.2 Parámetros del agua

2.2.2.1 Parámetros físicos

Temperatura. - La temperatura en el agua residual tiene una relación muy importante con los macroorganismos que contiene dicha agua. La actividad de distintos microorganismos presentes en su contenido puede aumentar su actividad o incluso inhibirse en función de la temperatura.

Olor. - La presencia de olores en el agua residual hace referir principalmente a la presencia de sustancias orgánicas. Los olores pueden ser provenientes la actividad biológica, pero también resultados de contaminación industrial.

Contenido de Sólidos - sólidos suspendidos totales SST. - Es la materia que se encuentra diluida en agua residual. Es la muestra o masa seca no filtrable, es decir que queda sobre el papel y uno de los lineamientos más importantes en el tratamiento de agua. para hallar la cantidad de SST, primero hay que determinar mediante filtración a través de un filtro de 24 mm de diámetro y poro de 0,2 micras. El filtro suele colocarse en un crisol y luego hay que secarla en una estufa a 100 +/- 3°C.

$$SST \frac{\text{mg}}{\text{l}} = \frac{A - B}{\text{Volumen de la muestra}} \dots \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

A= masa del filtro y crisol más muestra seca mg

B= masa del filtro y crisol, mg

2.2.2.2 Parámetros químicos

Potencial de hidrógeno (pH). - El pH en el agua es importante en todas sus etapas de tratamiento. El control adecuado de pH permite tener una clarificación y una desinfección óptima. Se recomienda que para la desinfección sea eficaz, el pH debe ser menor que 8. Sin embargo, tampoco puede bajar mucho, pues el agua podría ser corrosivo. [11]

Demanda biológica de oxígeno. - Es un método que mide la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar materia orgánica biodegradable que contiene la muestra de agua. [12]

Aluminio residual. - El aluminio es un metal muy abundante cuyas fuentes principales son el aluminio de origen natural y las sales utilizadas en tratamiento de agua.

Cobre. - Se caracteriza por ser un nutriente y contaminante al mismo tiempo del agua potable. repercute en el sistema digestivo o incluso pérdida del gusto a concentraciones superiores a 5 mg/l. además, mancha la ropa y los accesorios sanitarios a 1 mg/l

Conductividad. - Es la cantidad de materia ionizable presente en el agua. la medida que posee el agua para conducir la electricidad. [13]

2.2.2.3 Parámetros microbiológicos

Bacterias termotolerantes. - La clase de bacterias existentes en las aguas es Escherichia. Esta bacteria termotolerante Escherichia coli es indicador de contaminación fecal. Su detección en el agua conlleva a tomar medidas preventivas, realizaciones de otros muestreos y fuentes adicionales de contaminación. [14]

Bacterias patógenas salmonella. - Las bacterias patógenas salmonelas son muy sensibles a la desinfección. Estas bacterias producen enfermedades como diarrea fulminante, náuseas, vómitos, fiebre tifoidea o paratifoidea y portadores en personas infectadas. [14]

Enterococos. - Los enterococos intestinales también son un indicador de contaminación fecal reciente. Mediante su detección se deben tomar medidas preventivas, realizar muestreos adicionales, fuentes de contaminación como un tratamiento inadecuado que alteren los sistemas de distribución de agua. [14]

Insectos y helmintos. - Helminto, o llamado también gusano de variedad tanto parasitarios como los de vida libre. El agua de consumo no es la única vía de transmisión de los helmintos. Por ejemplo, *Dracunculus medinensis* (gusano de Guinea) y *Fasciola* especies. (*F. hepática* y *F. gigantea*) (trematodos hepáticos). Ambos necesitan huéspedes para completar sus ciclos biológicos, pero su vía de transmisión es el agua de consumo humano mediante diferentes mecanismos. También helmintiasis (ascariasis, tricuriasis, anquilostomiasis y estrongiloidiasis) se transmiten por riego a los cultivos mediante agua residual sin tratar. [14]

2.2.3 Tratamiento de agua residual de lavado

Las corrientes residuales a menudo tienen un alto contenido de partículas, sólidos y otros contaminantes. Puede ser necesario tratar las corrientes residuales antes de reciclar para que la calidad del agua terminada no se vea comprometida. Una encuesta de American Water Works Association (AWWA) realizada en 1998 encontró que la mayoría de los sistemas que reciclan (aproximadamente el 70%) tratan y/o igualan la corriente antes de su regreso a la cabecera de la PTAP. El tipo más común de tratamiento es la sedimentación. La Agencia de protección Ambiental (EPA) reconoce que el tratamiento adicional de las corrientes de reciclaje puede ser apropiado para reducir los riesgos de contaminación microbiana y optimizar el rendimiento operativo del sistema. [15]

Muchos tipos diferentes de corrientes residuales pueden reciclarse en plantas de tratamiento de agua potable. EPA originalmente identificó doce corrientes de reciclaje para estudiar y seleccionó tres corrientes de reciclaje para su regulación. Estas corrientes de reciclaje son:

- Agua pasada por el filtro de retrolavado.
- Líquidos de procesos de deshidratación.
- Sobrenadante de espesante (denominado sobrenadante de espesante de lodo).

Algunos sistemas pueden decidir que el reciclaje de las corrientes residuales no es rentable y pueden optar por eliminar las corrientes residuales. La eliminación de flujos residuales puede necesitar cumplir con los requisitos de otros estatutos y reglamentos federales y estatales.

2.2.4 Estación de tratamiento de agua potable

- **Filtros**

Es un tanque de forma rectangular, edificado de concreto. Se divide en 2 celdas o camas de filtración. Ambas celdas comparten el mismo lecho filtrante. El filtro consta de una cámara inferior, un fondo, grava y arena (lecho filtrante).

- **Tipo de filtros**

La filtración puede efectuarse de muchas formas: según la dirección de flujo, según su velocidad de filtración, según la fuerza impulsora, según los mecanismos de remoción predominantes, según el tipo de lecho filtrante. [16]

- **Proceso de filtrado**

Consiste en separar partículas (arcilla) y microorganismos (bacterias, algas) que no han podido ser removidos en las etapas previas a la filtración (sedimentación, floculación) a partir de usar arena y grava que retienen estos residuos.

- **Lavado de filtro**

Comúnmente los sistemas de agua potable usan filtros para recolectar, capturar o recoger partículas de un flujo entrante. Cuando los poros del filtro se obstruyen, necesitan ser limpiados. La mejor forma de hacerle mantenimiento es lavarlos, o invertir el flujo y aumentar la velocidad del paso del agua por el filtro. Esto, en efecto, libera las partículas obstruidas del filtro. Aunque cada filtro es único, los principios del retrolavado son similares para todos ellos. Un ingrediente clave para un buen lavado de filtro es usar agua limpia.

2.2.5 Tecnologías de tratamiento avanzado de aguas residuales

▪ **Microfiltración.**

La tecnología microfiltración es el adelanto científico de la filtración convencional por el tamaño tan reducido de poro de la membrana que posee. Este tamaño oscila en un intervalo de 0,01 a 12 μm . No funciona en la separación de molecular, sin embargo, elimina a gran escala el material coloidal y suspendido a presiones de 1 bar a 2 bar. Muy utilizado en el tratamiento de agua junto con otras etapas. Además, elimina partículas y carbono orgánico disuelto.

▪ **Ultrafiltración**

Su principio de funcionamiento se asemeja a ósmosis inversa. La diferencia está en el tamaño de poro de la membrana que oscila entre los 0,002 a 0,03 μm y funciona con presiones de menor grado, motivo por el cual genera menor costo de energía. Opera a presiones menores de 5 bar.

▪ **Nanofiltración**

Las membranas utilizadas para esta tecnología son del tamaño de 0,01 a 0,1 μm , Estas membranas permiten el paso iones monovalentes como los del sodio o potasio. Por otro lado, rechazan iones divalentes, como calcio y magnesio, y moléculas orgánicas de alto peso molecular. Trabaja una presión de 5 bar. Puede eliminar compuestos orgánicos causantes de color.

▪ **Ósmosis inversa**

La tecnología de ósmosis inversa produce un flujo de agua muy concentrado. Trabaja a presión de 15 a 50 bar, dependiendo cual sea el campo de aplicación. Rechaza compuestos orgánicos y su poro de membrana es menor de 0,002 μm , Esta tecnología es aplicable en desalación de agua salobre y agua de mar.

▪ **Electrodiálisis inversa**

Se introdujo a principios de la década de 1970. Es idéntica a Electrodiálisis, pero emplea la inversión periódica de la polaridad de la corriente continua como mecanismo de autolimpieza. Electrodiálisis Inversa funciona idealmente con agua con una concentración de TDS de 1 000 a 5 000 mg / L, pero puede tratar el agua con concentraciones que alcanzan los 10 000 a 12 000 mg / L.

A diferencia de las membranas OI y NF, EI no dan como resultado una reducción de sólidos en suspensión, patógenos o contaminantes no cargados de interés emergente, pero son capaces de reducir SDT mediante la eliminación de iones cargados. EI también es eficaz para la eliminación de bromuro, que puede reducir la formación de bromato. Con respecto a la reutilización potable, Electrodiálisis y electrodiálisis inversa solo se aplicarían en situaciones donde otros procesos unitarios capaces de eliminar sólidos suspendidos totales (SST), patógenos y contaminantes emergentes se incluyen en el tren de tratamiento.

2.2.6 Distribución de plantas

- **Superficie estática.** - Es el área que ocupan los equipos de manera física. La ecuación mediante la cual se obtiene la superficie estática es la siguiente:

$$SS = AxL \dots \text{Ecuación (2)}$$

- **Superficie gravitacional.** - El espacio que ocupan los operarios o trabajadores en la planta. a continuación, se presenta la ecuación mediante la cual se determina la SG. La superficie se multiplica por el número de lados.

$$SG = SSxN \dots \text{Ecuación (3)}$$

- **Superficie de evolución.** - El espacio que se guarda entre los puestos de trabajo para que el personal pueda desplazarse. Donde k: constante del proceso a partir de la altura promedio de elementos que se desplazan entre el doble de la altura promedio de los elementos que permanecen fijos. Continuación se observa la siguiente ecuación:

$$SE = K x (SS + SG) \dots \text{Ecuación (4)}$$

- **Superficie total.** - Es igual a la suma de todas las superficies que se mencionaron anteriormente.

$$ST = SS + SG + SE \dots \dots \dots \text{Ecuación (5)}$$

- **Constante k.** - Constante de superficie evolutiva. Es igual al promedio de los elementos móviles entre dos veces la suma del promedio de los elementos estáticos.

$$k = \frac{\text{Promedio elementos móviles}}{2 \times \text{Promedio elementos estáticos}} \dots \dots \dots \text{Ecuación (6)}$$

2.2.7 Marco legal

2.2.7.1 Decreto supremo N° 004 – 2017 – MINAM

Esta ley fue publicada el día 7 de junio en el diario “El Peruano” mediante el cual el ministerio del ambiente aprueba Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua destinadas a ser potabilizadas “Artículo 3” Estándares de calidad. [17]

Categoría 1: Población y Recreacional

Subcategoría A-2.- aguas posibles a ser potables con tratamiento convencional que significa tratarla con dos o más de los siguientes procesos: coagulación, floculación, sedimentación, decantación, desinfección.

Subcategoría A-3.- aguas posibles a ser potables con tratamiento avanzado sometidas a un tratamiento con procesos químicos avanzados como precloración, microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

Tabla N° 02. Requisitos de aguas destinadas a la producción potable

Parámetro	Categoría	A2	A3
	Unidad	Convencional	Avanzado
Color	C.V Escala Pt/Co	100	---
Conductividad	µs/cm	1600	---
DBO	mg/l	5	10
pH	Unidades de pH	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0
STD	mg/l	1000	1500
Temperatura	°C	Δ3	---
Turbiedad	NTU	100	---
Aluminio	mg/l	5	5
Cobre	mg/l	2	2
Coliformes Totales	NMP/100 ml	---	---
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	2 000	20 000
Forma Parasitaria	N° Organismo/L	---	---
Escherichia Coli	NMP/100 ml	---	---
Vibrio Cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, etc.	N° Organismo/L	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

Fuente: Ministerio del ambiente (MINAM) [17]

La tabla anterior presenta los parámetros físicos (rojo), químicos (azul) y microbiológicos (amarillo) estipulados por el MINAM como requisitos de aguas destinadas a potabilizar usando tratamiento convencional y avanzado.

2.2.7.2 Reglamento de la calidad de aguas para consumo humano

El decreto supremo 031 - 2010 [18]. emitido por la Dirección Regional de Salud garantiza la inocuidad, previene riesgos sanitarios y promover la salud de la población evitando enfermedades ocasionadas por consumo de agua de mala calidad. Además, promover capacitaciones al personal para que la vigilancia de calidad del agua sea eficiente y el tratamiento óptimo durante toda etapa.

Tabla N° 03. Límites máximos permisibles de calidad agua de consumo humano

Parámetro	Unidad	Norma - LMP
Olor	---	Aceptable
Sabor	---	Aceptable
Turbiedad	NTU	5
pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
Conductividad	µm /cm	1 500
Sólidos Totales Disueltos	mg/l	1 000
Hierro	mg/l	0,3
Aluminio	mg/l	0,2
Cobre	mg/l	2,0
Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 ml	0
Bacterias Coliformes Termotolerantes o fecales	UFC/100 ml	0
Huevos y larvas de Helmintos, quistes, orquistes	N° Org/L	0
Virus	UFC/100 ml	0
Organismos de vida libre: algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos.	N° Org/L	0

Fuente: Dirección Regional de Salud (DIGESA) [18]

NTU= unidad nefelométrica de turbiedad; UFC= unidades formadas por colonias. La tabla anterior presenta los parámetros físicos (color rojo), químicos (color azul) y microbiológicos (color amarillo) decretados por el ministerio de salud.

2.2.7.3 Reglamento de la ley de recursos hídricos 293338

Según el reglamento de la ley de recursos hídricos [19] nos indica:

Artículo 135°. -Prohibición de efectuar vertimientos sin previa autorización. El punto 135.2 indica la prohibición de verter aguas residuales sin ninguna autorización a drenes.

Artículo 148°. - Autorización para utilización de aguas residuales

Deben ser tratadas y cumplir con lineamientos de calidad dependiendo el sector de utilización. Si implica riesgo para la salud humana y del medio ambiente, no se autorizará el tratamiento.

Artículo 278°. – infracciones

El punto 278.2 de la norma indica que, para calificar las infracciones, se aplicara el principio de razonabilidad de la ley N° 27444 [20] indicada en el punto 2.2.7.6. se toma en cuenta lo siguiente:

Peligro en perjudicar la salud de la población, Beneficios económicos, Nivel de daño, Impactos negativos, Reincidencia en la conducta, Costos al estado. No se toman como infracciones leves: Contaminar de cualquier manera fuentes naturales de agua, Verter aguas residuales a cuerpos naturales de agua sin autorización de las entidades reguladoras, Arrojar sólidos a cuerpos de agua naturales o artificiales.

Artículo 279°. - Sanciones aplicadas

La cantidad de Unidades Impositivas Tributarias (UIT) como el equivalente a la infracción cometida, se observa en la siguiente tabla N° 04.

Tabla N° 04. Multa por infracción expresado en UIT

Nivel de infracción	Valor cantidad	
	Mínimo UIT	Máximo UIT
Leve	0,5	2
Grave	2	5
Muy grave	5	10 000

Fuente: Autoridad Nacional del Agua [19]

2.2.7.4 Reglamento de la calidad sanitaria de los recursos hídricos

El punto 6.3 de la presente norma informa el procedimiento del Muestreo Simple o llamado también discreta el cual consiste en tomar una porción de agua en un punto específico para su análisis. Tal muestra será la representación de la composición del cuerpo de agua. [21]

2.2.7.5 Reglamento de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas resolución jefatural N° 224 – 2013 [22]

El artículo N° 12 de la presente norma indica el reúso de aguas residuales tratadas de acuerdo con el derecho otorgado.

El artículo N° 13 – Condiciones para autorizar el reúso de aguas residuales tratadas.

- a.-Deben ser sometidas a un tratamiento previo que permita cumplir con los lineamientos de calidad establecidos por las autoridades encargadas de tal sector.
- b.-Aprobación del instrumento de gestión ambiental de reúso de aguas residuales.
- c.-No poner en peligro la salud de las personas y el medio ambiente.

2.2.7.6 Ley de procedimiento administrativo general N° 274444

Las autoridades deben cerciorarse de que al infractor le resulte más ventajosa cumplir con las normas que pagar las multas impuestas. Por ello las infracciones deben ser proporcionales al incumplimiento de lo establecido teniendo en cuenta lo siguiente:

- El beneficio ilícito del infractor.
- La probabilidad de la detección.
- Gravedad del daño al interés público o privado.
- Daños económicos
- Reincidencia en la falta después de 1 año fecha de sanción.
- Intencionalidad

III. RESULTADOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS A REDUCIR EN EL AGUA RESIDUAL

3.1.1 La empresa

EPSEL S. A. Lambayeque con número de ruc: 20103448591, cuenta con dos plantas en el distrito y desde 1999, se dedica a brindar el servicio de saneamiento de agua potable, alcantarillado y servicios de laboratorio. En la planta N° 02, se capta y se trata el agua hasta su potabilización y en la planta N° 01 se recoge el agua potable que llega de la planta N° 02 para ser clorada nuevamente, bombeada hacia 2 tanques elevados y ser distribuida a la población. Aquí también se encuentra la administración, la gerencia, el laboratorio y además se realizan los pagos de los pobladores por el servicio.

La PTAP N° 02 EPSEL S. A. se encuentra ubicada a 1,7 km del distrito de Lambayeque, entre las coordenadas 6°41'41,55" Sur; 79°53'10,56" Oeste (Anexo N°01). La planta tiene un caudal de diseño de 158 l/s. El agua potable, se genera mediante la captación de agua cruda⁵ superficial del canal san Romualdo. En promedio mensual, la planta recibe 335 599 m³ de agua cruda y tiene una producción de 324 000 m³ de agua potable. Además, cuenta con 05 unidades de presedimentación, 03 unidades de floculación, 03 unidades de decantación, 07 unidades de filtración y una cisterna de 280 m³ donde se desinfecta el agua.

La tabla siguiente presentada a continuación detalla la producción de agua potable desde abril 2017 a abril 2018 de la PTAP N° 02 de EPSEL S.A Lambayeque.

⁵ AGUA CRUDA. - Agua en estado natural, captada para abastecimiento que no ha sido sometida a procesos de tratamiento.

Tabla N° 05. Producción de agua potable planta N° 2 desde abril 2017 – abril 2018 en m³

Mes	Caudal ingreso (l/s)	Agua cruda ingreso	Agua tratada
Abril	114	287 342	276 702
Mayo	123	333 925	321 535
Junio	126	330 991	319 161
Julio	126	335 860	324 240
Agosto	135	341 975	329 655
Septiembre	158	383 262	372 762
Octubre	129	384 591	372 441
Noviembre	140	384 596	372 016
Diciembre	138	386 682	374 322
Enero	146	386 946	374 706
Febrero	137	378 112	365 602
Marzo	138	406 238	393 498
Abril	131	372 709	360 819
Total	---	4 713 229	4 557 459

Fuente: EPSEL S. A. - Lambayeque

En la tabla 05, se aprecia el caudal de ingreso de agua a planta, así como el agua de ingreso a planta y la producción de agua potable. Como se observa actualmente la planta produce 4 557 459 m³ de agua destinada al consumo de los pobladores del distrito de Lambayeque.

3.1.1.1 Descripción del proceso

La producción de agua potable se genera iniciando por la captación de agua cruda del canal San Romualdo y un tratamiento convencional. Finalizado el proceso, el agua potable se bombea al reservorio de 100 m³. Mediante tuberías de 14' y 16' conduce el agua hacia las 2 pozas de almacenamiento de capacidades de 1 674 m³ en planta N° 01. Posteriormente el agua es clorada y bombeada hacia los reservorios elevados de 450 m³ y 3 000 m³ para su distribución a la población.

3.1.1.2 Etapas del proceso

- **Captación.** -Se realiza a través de una compuerta que divide a la PTAP del canal san Romualdo. Al ingreso, el agua pasa por unas rejas que separan ingreso de material sólido grande que acompaña al agua cruda. Inmediatamente después se le agrega sulfato de aluminio para la precipitación de arena disuelta en el agua.
- **Presedimentación.** -En esta etapa se promueve la precipitación de partículas sólidas. El agua ingresa a través de unos orificios de 20 y 10 cm mientras que la arena al chocar con la pared de concreto de la unidad se asienta al fondo de la unidad. Luego el agua sigue su curso hasta la siguiente canaleta parshall. La siguiente etapa es coagulación.
- **Coagulación.** -La dosis de sulfato de aluminio se aplica en la canaleta parshall donde se produce un mezclado homogéneo para promover la precipitación de la materia orgánica, coloides.
- **Floculación.** -Esta unidad los flocs o flóculos crecen para su precipitación o caída del agua sucia y luego sean eliminadas en el siguiente proceso.
- **Decantación.** -En esta unidad se depositan toda la materia en suspensión por gravedad. Para ello se reduce la velocidad del agua hasta que las partículas se precipiten y se deposite el lodo en bandejas.
- **Filtración convencional.** -Se realiza a través de 7 unidades formada cada una por dos secciones, donde el agua por gravedad pasa a través de lechos formado por arena y grava. Se recolecta mediante una tubería y pasa al siguiente proceso.
- **Desinfección.** -El trabajador de la planta inyecta cloro gas en la tubería en un tiempo determinado en las tuberías de recolección de agua filtrada. Aquí se eliminan los gérmenes causantes de enfermedades en la población consumista. El personal tiene un tiempo determinado para llevar a cabo este proceso.
- **Envío a PTAP N° 01.** -Desinfectada el agua, es enviada hacia la planta N° 01, para luego ser distribuida.

La siguiente figura presenta el proceso de producción de agua potable de la planta EPSEL S. A. Lambayeque.

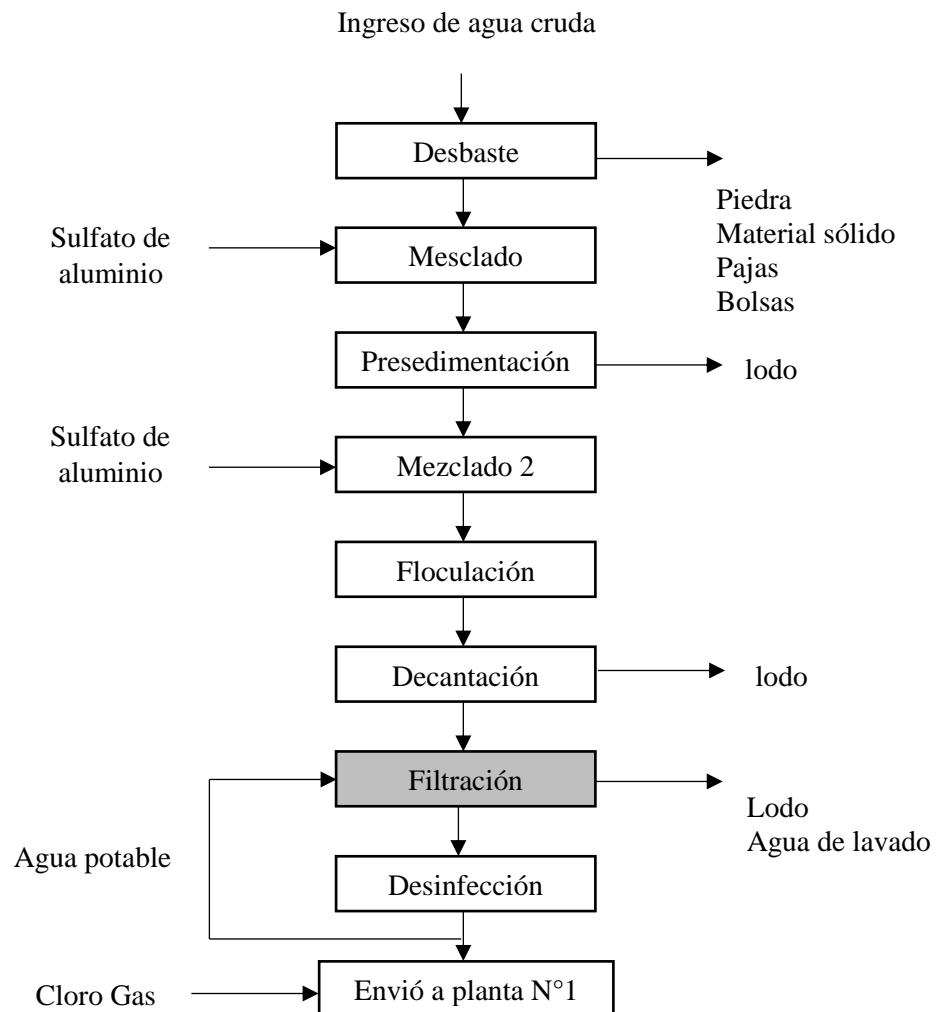


Figura N° 1. Diagrama de bloques del proceso productivo de agua potable
Fuente: Epsel S.A. Lambayeque

La figura N° 1 muestra el flujo productivo de agua potable de la empresa. A partir del proceso de Filtración se hace un control de lavado para la limpieza de los filtros que consiste en regresar agua en tratamiento para remover los lodos sedimentados en la cámara de los filtros con el fin de producir agua que cumpla ciertos parámetros para el consumo humano. también muestran los insumos y los diferentes residuos generados a lo largo del proceso el cual inicia con el ingreso de agua cruda hasta su distribución a la población. (Ver Anexo N° 02).

El agua potable presenta las siguientes características que se observan en la tabla N° 06 mostrada a continuación:

Tabla N° 06. Características de ingreso y salida de agua en PTAP N° 02

Parámetro	Unidad medida	Ingreso a planta	Salida planta
Cloro libre	ppm	---	1,20
Turbidez	NTU	551	2,56
pH	---	7,9	7,48
Conductividad	μS/cm	310	
Color	UCV	7	3
SO4	Mg/l	0	0
NO3	Mg/l	0	0
Fierro	Mg/l	0	0
Magnesio	Mg/l	0	0
Cobre	Mg/l	0	0
Sodio Zinc	Mg/l	0	0
Aluminio	Mg/l	0,0076	0,036
Coliformes Totales	UFC/100ml	9,40E+0,2	0
Coliformes fecales	UFC/100ml	1,71E+0,2	0
R.H	UFC/100ml	0	3

Fuente: EPSEL S. A. Lambayeque

En la tabla anterior se observa las características del agua de ingreso a planta. Se nota ausencia de nitratos y nitritos en su composición, al igual que fierro, magnesio, entre otros. En base a esta información, solo se tomó en cuenta parámetros relevantes en el análisis del *agua de lavado de filtros*. A su vez, se observa la composición del agua potable (agua de salida), características que determinan su calidad.

Como todo proceso, genera desechos, los desechos generados productos del tratamiento de agua potable son:

Material Sólido. -Es el material ajeno al agua de ingreso a la planta como bolsas, pajas, piedras, ramas entre otros.

Lodos. -Los lodos generados en la PTAP es el sedimento seco o pastoso en el que se concentran los sólidos sedimentados o decantados del agua en tratamiento.

Agua de lavado de filtro. -El agua de lavado de filtro, tema central de esta investigación es el agua usada para lavar los filtros y remover el lodo acumulado en estas unidades. El agua de lavado de los filtros se produce justamente en la etapa de filtrado y para conocer más acerca de esta agua residual, se detalla esta etapa del proceso y en que consiste la limpieza de filtros como sigue a continuación.

3.1.2 Etapa de filtrado

Uno de los principales problemas de la planta de tratamiento de agua potable N° 02, es el volumen considerablemente alto de agua en tratamiento que utiliza en el lavado de los 7 filtros del proceso para eliminar lodos acumulados. La limpieza de las unidades se realiza cotidianamente. En un lapso de cada 3 horas se lava un filtro con el único propósito es proporcionar un tratamiento de calidad de agua que pueda cumplir con los estándares y normativas nacionales e internacionales de DIGESA⁶ y las OMS⁷.

3.1.2.1 Filtro

Las unidades de filtración cuentan con una batería de 7 filtros. El medio filtrante constituido por arena con diámetro efectivo de 0,50 mm y un espesor de 0,80 m, la cama de soporte es grava de tamaño de 2” y de espesor 0,30 m. El agua filtrada de cada unidad se recolecta en un canal común. El sistema de lavado de cada uno de los filtros es agua que producen los demás filtros de la batería y se lava con carga hidráulica. La siguiente figura muestra las diferentes partes del filtro de la planta de planta de tratamiento.

⁶ DIGESA. - Dirección Regional de Salud

⁷ OMS. - Organización Mundial de la Salud

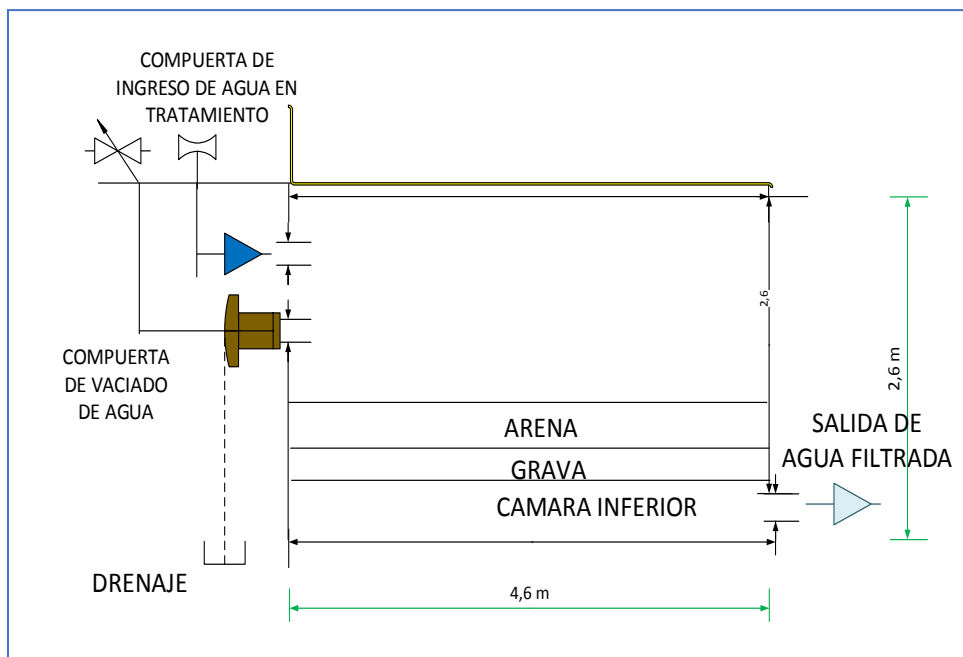


Figura N° 2. Esquema de filtro convencional

Elaboración propia

En la figura N° 2, se observa cómo está compuesto la unidad de filtro convencional. Cada filtro se divide en 2 celdas de filtración que comparten el mismo lecho filtrante (ver Anexo N° 03). En la parte inferior del filtro se ubica la cámara donde se depositan el agua filtrada para su posterior desinfección y envío a Planta N° 01 para su posterior distribución. A continuación, se presentan la tabla N° 07 donde se muestra las dimensiones del filtro de la PTAP N° 02.

Tabla N° 07. Medidas de unidad de filtro

Dimensión	Medida (m)
Largo	4,6 m
Ancho	3,3 m
Altura	2,6 m
Volumen total	39,47 m ³

Fuente: Epsel S. A. - Lambayeque

El largo del filtro es 4,6 m; el ancho es 3,3 m y su altura es 2,6 m haciendo un volumen de 39,47 m³. Cada unidad de filtración tiene una capacidad para

tratar 39,47 m³ de agua. En total son 7 unidades de filtración. La capacidad total de agua en tratamiento en el proceso de filtrado es de 276,29 m³.

$$\text{Proceso filtrado} = 39,47 \text{ m}^3 \times 7 = 276,29 \text{ m}^3$$

Durante la limpieza de cada filtro, el agua que contiene es eliminada. La cantidad de agua eliminada es igual a la capacidad del filtro que es:

$$\text{Agua de vaciado AV} = 39,47 \text{ m}^3$$

Agua de vaciado es agua en tratamiento que ha llegado hasta la filtración, uno de los últimos procesos del tratamiento de agua potable. Se desecha por una compuerta subterránea para el mantenimiento del filtro.

Agua de retrolavado o lavado (AL)

Para estimar el volumen de agua de retrolavado de los filtros fue necesario considerar los siguientes datos:

- Las dimensiones de las unidades
- Número de filtros
- Caudal de ingreso a planta
- Tiempo de lavado
- Volumen de agua de vaciado
- Volumen de agua de lavado.

Ingreso de caudal de agua

De acuerdo con la tabla N° 05 (pág. 31) el caudal más alto de agua de ingresa a planta es: 158 l/s. Si dividimos el caudal de ingreso entre el número de unidades que son 7 obtendremos el volumen de agua de ingreso a cada filtro como se muestra a continuación.

$$\frac{158 \text{ l/s}}{7 \text{ filtros}} = 22,57 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 81,26 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Volumen ingreso agua en cada filtro:

$$22,57 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 81,26 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Para calcular el agua de lavado (AL) de filtros: $AL = T \times V$

Donde:

T= tiempo de lavado de filtros.

V= volumen de agua de lavado.

Cálculo:

Tiempo de lavado: 15 minutos

Volumen ingreso agua en cada filtro

$81,26 \text{ m}^3$ -----1h = 60 minutos

AL -----15 minutos

$$AL = 20,31 \text{ m}^3$$

A continuación, se presenta el volumen de agua usada en el lavado de los filtros de la planta de tratamiento.

$$ARF = [AL + AV] \times NF$$

Donde:

ARF= agua residual filtro

AL= Agua de Lavado.

AV= Agua vaciado.

NF= Número de filtros

Remplazando

$$AV = 39,47$$

$$AR = 20,31$$

$$NF = 7$$

$$ARF = (20,31\text{m}^3 + 39,47\text{m}^3) \times 7$$

$$ARF = 418,49 \text{ m}^3$$

Los resultados obtenidos se resumen a continuación en la tabla N° 08

Tabla N° 08. Resumen - agua usada en lavado de filtros / día

Ítem	Unidad
Tiempo de lavado	15 minutos
Agua usada de lavado	20,31 m ³
Agua de vaciado de filtro	39,47 m ³
Total, agua lavado x filtro	59,78 m ³
Número de filtros	7
Total, agua residual	418,49 m ³

Elaboración propia

Con los datos obtenidos en la tabla anterior, se estimó que el volumen de agua utilizada diariamente para limpieza de las unidades de filtración es **418,49 m³**.

3.1.2.2 Retrolavado

Se cierra la compuesta de ingreso de agua al filtro. Inmediatamente se abre la compuerta de drenaje para que el agua contenida en la unidad de filtración sea evacuada. Agua potable que ya ha sido filtrada regresa desde el tanque de almacenamiento a través de la misma tubería para remover los lodos acumulados en la unidad, lavando el filtro desde abajo hacia arriba. El agua de lavado en descargada a 2 buzones designados para estas unidades. Una vez limpio el filtro, se abre nuevamente la válvula de ingreso de agua para continuar con el proceso de tratamiento en curso. El agua de lavado cuyo contenido es lodo y aditivos químicos del tratamiento una vez en los buzones es vertida al dren La 715 - Eureka. (Ver Anexo N° 04)

Primero.- La válvula principal se abre para permitir el ingreso de agua potable desde el tanque de almacenamiento. A continuación, se cierra la válvula de ingreso de agua de proceso a la unidad de filtro. Esto evita que el agua decantada ingrese a la unidad de filtración. El filtrado se realiza hasta que el nivel del agua en la unidad disminuya así se evita escape de arena.

Segundo.- Se lava una celda primero y luego la siguiente. Entonces se abre la válvula de lavado de dicha celda para que el agua sucia contenida en ella sea descargada al buzón. De la misma forma se procede a lavar la celda N° 02

Tercero.- Se cierra la válvula de drenaje del agua de lavados y se abre la de ingreso de agua decantada para su filtración.

En la figura N° 3 presentada a continuación se observa el proceso de retrolavado de filtros.

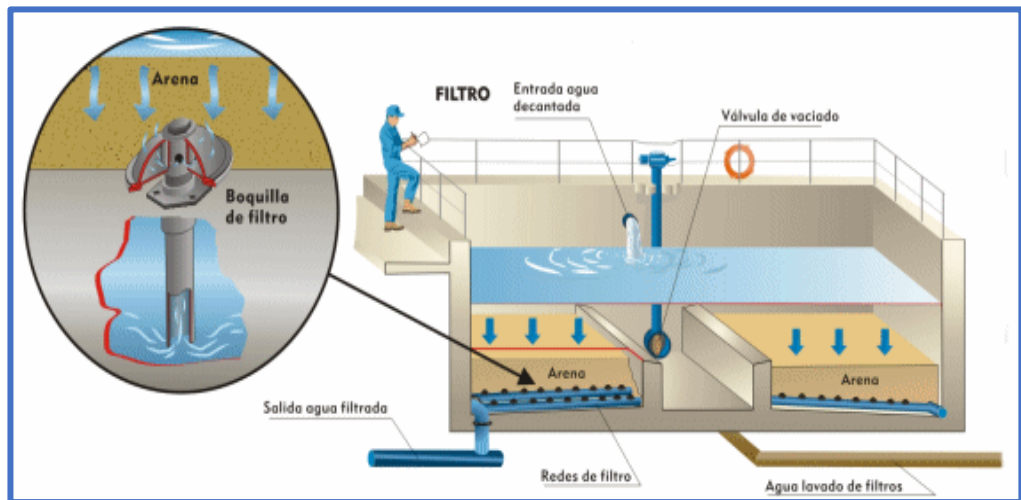


Figura N° 3. Proceso de retrolavado de filtros

Fuente: <http://www.elaguapotable.com>

En la figura anterior se puede observar la entrada de agua de la etapa de decantación, así como también la tubería de salida del agua filtrada y la tubería de salida del agua de lavado de filtros.

En la tabla siguiente N° 09 se presenta el control operativo de la producción de agua potable en EPSEL Lambayeque realizado en el intervalo de meses abril 2017 - abril 2018, así como también el consumo de agua de lavado de filtros.

Tabla N° 09. Control operativo de lavado de filtros PTAP N° 02 - periodo
 abril 2017 – abril 2018 en m³

Mes	Caudal ingreso l/s	Agua en planta N°02	Uso de agua para lavados	Agua tratada
Abril	114	287 342	10 640	276 702
Mayo	123	333 925	12 390	321 535
Junio	126	330 991	11 830	319 161
Julio	126	335 860	11 620	324 240
Agosto	130	341 975	12 320	329 655
Septiembre	158	383 262	10 500	372 762
Octubre	129	384 591	12 150	372 441
Noviembre	140	384 596	12 580	372 016
Diciembre	138	386 682	12 360	374 322
Enero	146	386 946	12 440	374 706
Febrero	137	378 112	12 510	365 602
Marzo	138	406 238	12 740	393 498
Abril	131	372 709	11 890	360 819
TOTAL	---	4 713 229	155 770	4 557 459

Fuente: EPSEL S. A. - Lambayeque

Diariamente la planta de tratamiento de agua potable N° 02 Lambayeque elimina en promedio 420 m³ de agua. En su equivalente significa 420 000 litros/día - 17 500 litros/hora - 291,66 litros/minuto. Según la organización mundial de la salud una persona utiliza 50 litros/día para satisfacer todas sus necesidades [23]. Reutilizar agua para consumo humano cubre la necesidad de 8 400 habitantes de la zona.

En temporadas de escasez de agua, los agricultores de los caseríos aledaños suelen perder sus cosechas o comprar cisternas de agua para regar sus cultivos. Reutilizar el agua para regadío podrá significar un beneficio para ellos, aparte del fácil acceso. Pese a que EPSEL S. A. trabaja con una eficiencia de producción estimada del 90%, se plante que puede operar bajo el concepto de “cero descargas”.

Por otro lado, la utilización de agua destinada al lavado de los filtros significa pérdida de ingreso económico por venta de agua potable que deja de recibir la empresa. A continuación, en la tabla siguiente N° 10 se presenta la tarifa de agua potable EPSEL S. A.

Tabla N° 10.Tarifa Epsel S. A. por venta de agua potable

Tipo de servicio	Tarifa S/. x m³
Tipo de servicio	doméstico
Costo	S/. 1,19
IGV 18%	S/. 0,22
Total	S/. 1,41

Fuente: EPSEL S.A. Lambayeque

El valor tarifario de Epsel S.A por el servicio de agua potable equivale a S/, 1,41 por 1 m³ como lo indica la tabla anterior. Para determinar la pérdida monetaria de EPSEL en agua destinada para lavado de filtros se le multiplicó por la tarifa de m³ de agua potable.

A continuación, se aprecia el equivalente en costo del agua usada en limpieza de filtros.

Tabla N° 11. Pérdida económica por m³ de agua residual año 2017 - 2018

Mes	Agua para lavado m ³	Valor venta agua potable S/.
Abril	10 640	S/. 15 002,40
Mayo	12 390	S/. 17 469,90
Junio	11 830	S/. 16 680,30
Julio	11 620	S/. 16 384,20
Agosto	12 320	S/. 17 371,20
Septiembre	10 500	S/. 14 805,00
Octubre	12 150	S/. 17 131,50
Noviembre	12 580	S/. 17 737,80
Diciembre	12 360	S/. 17 427,60
Enero	12 440	S/. 17 258,40
Febrero	12 510	S/. 17 639,10
Marzo	12 740	S/. 17 963,40
Abril	11 890	S/. 16 764,90
Total	155 770	S/. 219 635,70

Elaboración propia

Diariamente se utiliza aproximadamente 420 m³ de agua en limpieza de filtros equivalente a cerca de 600 soles. En los meses de NOVIEMBRE y MARZO se registró la mayor pérdida por encima de los 17 600, 00 soles. En el año 2017 el total del costo de agua usada en el lavado de filtros alcanzó los S/. 219 635,70 por la cantidad de 155 770 m³.

3.1.2.3 Características del agua residual

La empresa prestadora de servicios de saneamiento EPSEL S. A. Lambayeque utiliza agua en tratamiento para la limpieza de sus filtros. El agua de lavado luego resultante posee concentraciones de sustancias químicas por lo que se debe conocer el estado de los indicadores antes de realizarse el tratamiento adecuado.

Muestreo

La toma de muestra del agua de lavado de filtro de la PTAP N° 02 de EPSEL Lambayeque (Página N° 47) y se efectuó con el propósito de conocer su composición fisicoquímica y microbiológica, por ello fue necesario realizar muestras representativas del agua residual y de esta manera obtener resultados confiables.

A continuación, se describe el procedimiento que se realizó durante la toma de muestras del agua de retrolavado para determinar su composición.

La ubicación de la zona se registró mediante el programa Google Earth Pro (ver anexo N° 05). El punto de toma de muestra fue la planta de tratamiento N° 02 de EPSEL Lambayeque. el recojo de la muestra se extrajo del filtro #4 [24] . También se extrajo una muestra de la cámara de lodos, sin embargo, esta información no se incluyó en la investigación.

Ubicado el punto de monitoreo, se realizó el recojo de la muestra de agua. Se realizó una muestra para el análisis fisicoquímico y una para el análisis microbiológico (Ver anexo N° 06)

La muestra de agua residual se recogió durante el lavado del filtro con la ayuda de un operario de planta. El tipo de muestreo fue simple, debido a que la muestra fue tomada en un punto determinado (filtro N° 04). Para el análisis fisicoquímico, la muestra se recogió en un frasco de polietileno esterilizado de 500 ml y fue llevado al laboratorio de control de calidad de EPSEL S. A. - Lambayeque. A la muestra se analizó DBO₅, Aluminio Residual, Sólidos suspendidos, conductividad, pH, Coliformes totales, temperatura, cobre. [25]

A continuación, en la siguiente figura se observa el esquema de la planta donde se recogió la muestra de agua.

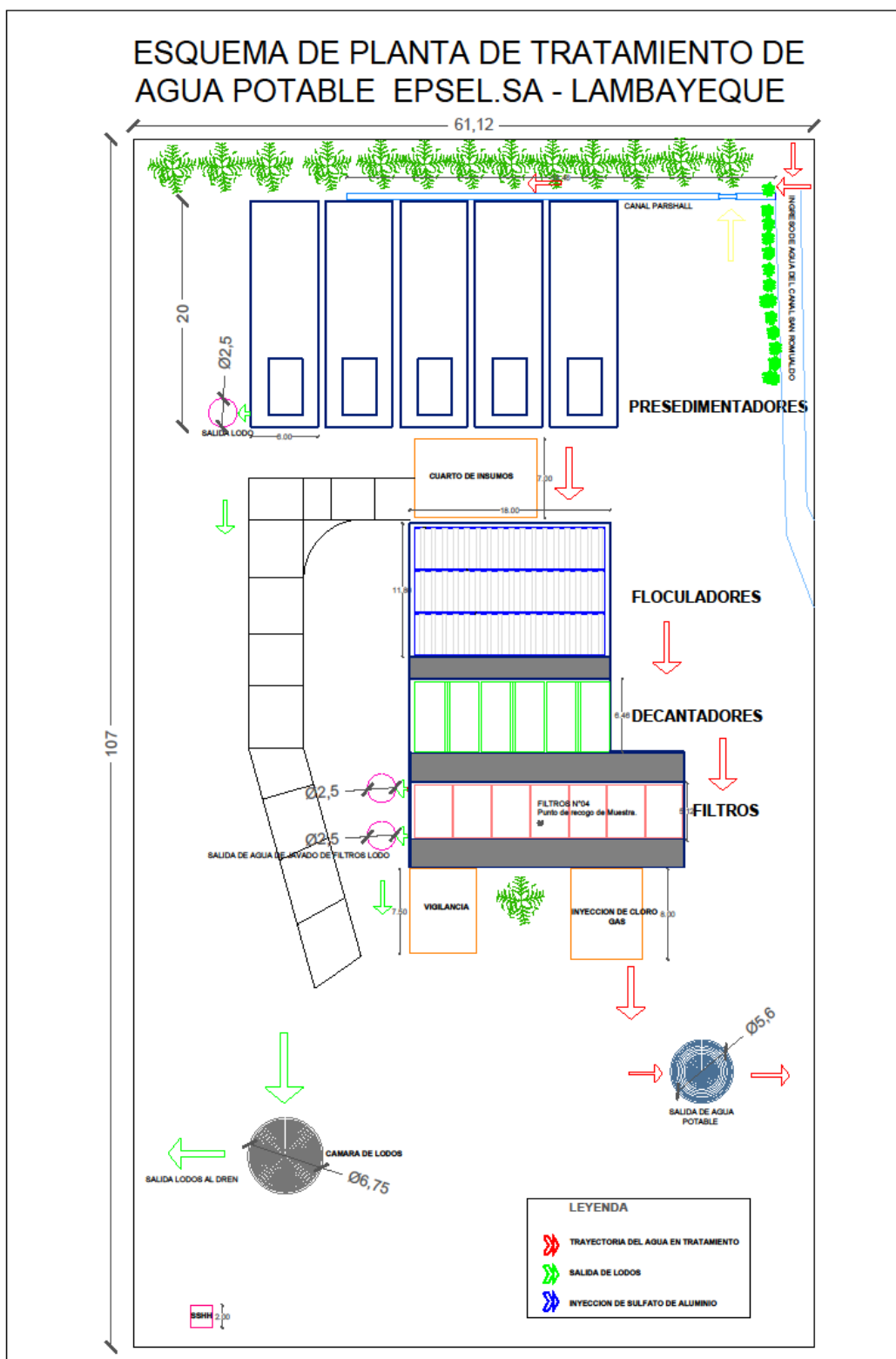


Figura N° 4. Esquema de planta donde se tomó la muestra de agua de lavado de filtros

Fuente: Epsel S. A. - Lambayeque

Para su análisis microbiológico, la muestra se recogió en un frasco de polietileno esterilizado de 2 litros y fue llevado al laboratorio de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo (UNPRG). Se le realizó análisis de coliformes termotolerantes, coliformes fecales, patógenos, salmonella, insectos y helmintos, entre otros. [25]

Debido a que la PTAP N°2 se ubica aproximadamente a 1,7 km del distrito de Lambayeque y de la planta N°1 (donde se ubica el laboratorio EPSEL) y a 2.5 km de la UNPRG, fue necesario mantener la muestra a una temperatura adecuada (4 °C), dado por el grado de delicadez que representa hacer análisis de los parámetros DBO y microbiológicos [26]. El tiempo de llegada a laboratorio EPSEL Lambayeque fue de 10 minutos.

El Envase utilizado en la toma de muestra para ambos análisis fue siempre frasco polietileno limpio y seco proporcionado por el Laboratorio.

El propósito de ambas muestras fue conocer la calidad del agua de retrolavado de filtro a través de la cantidad de materia orgánica e inorgánica que presenta. Además de los microbios, virus, parásitos que pueda contener. Esta información ayudo a elegir el tratamiento más conveniente para su aprovechamiento.

Resultado de análisis fisicoquímico de agua residual

Los resultados obtenidos en el análisis fisicoquímico realizado al agua residual de lavado de filtros de PTAP N°02 EPSEL S. A. Lambayeque se muestra a continuación la siguiente tabla N° 12.

Tabla N° 12. Resultado de análisis fisicoquímicos de agua de lavado de filtros.

Parámetros	Unidad de medida	Resultado de análisis
Aluminio Residual	mg/l	0,45
Cobre	mg/l	0,09
Hierro	mg/l	0,07
Conductividad	µs/cm	398
DBO ₍₅₎	mg/l	8,07
pH	---	7,80
Temperatura	°C	25,4
Turbiedad	NTU	525
SST	mg/l	4 500

Fuente: EPSEL S. A. Lambayeque

Se llevaron a cabo el análisis fisicoquímico del agua de lavado de filtros el día 6 de junio del 2018 a 11 h 20 min (mismo día de muestreo para A. Microbiológico). El efluente presenta aluminio residual 0,45 mg/l y DBO₅ en 8,07 mg/l. también contiene un registro alto de turbidez (525 NTU) y sólidos suspendidos 4 500 mg/l (Ver anexo N° 07). Se observó durante el muestreo que los sólidos se precipitaron rápidamente producto del contenido de aluminio en el agua residual añadido durante potabilización, observando agua limpia en la parte superior y tierra asentada en la parte inferior de la muestra. Aproximadamente el tiempo en recojo de muestras y su llevada hasta el laboratorio ubicado en calle Huamachuco fue de 10 minutos aproximadamente, cumpliendo los lineamientos que dispone DIGESA para la conservación de muestras de agua. [27]

Resultados de análisis microbiológicos de agua residual

Los resultados obtenidos en el análisis microbiológico realizado al agua residual de lavado de filtros de PTAP N°02 EPSEL S. A. Lambayeque se muestra a continuación la siguiente tabla N° 13.

Tabla N° 13. Resultado de análisis microbiológico

Parámetro	Método	Unidad	Resultado
Bacterias Termotolerantes (44,5°C)	Diluciones Sucesivas NMP/100 ml	UFC/100 ml	480
Coliformes Fecales	Diluciones Sucesivas NMP/100 ml	UFC/ 100 ml	120
Bacterias Patógenas Salmonella	Diluciones Sucesivas NMP/100 ml	NMP/ 100 ml	Ausente
Enterococos	Diluciones Sucesivas NMP/100 ml	NMP/ 100 ml	Ausente
Levaduras	cultivo directo en placa Reconocimiento de Colonias	Límite/ml= 1x10 ³	Ausente
Mohos Contaminantes Y/ O Patógenos	cultivo directo en placa Reconocimiento de Colonias y Micelios	---	Ausente
Huevos, Larvas, Pupas Y/O Adultos De Insectos	Cultivo en Placa Reconocimiento de Colonias y Micelios	---	Ausente
Huevos, Larvas, Quistes Y/O Adultos De Gusanos Nematodos (Helmintos)	Observación Microscópica	---	Ausente
Protistas parásitos en su forma de quistes y/o adultos	Organismo/ml	---	Ausente

Fuente: Universidad nacional Pedro Ruiz Gallo - Laboratorio

Según los resultados obtenidos del ensayo microbiológico (bacteriológico, micológico y parasitológico) realizada al agua de retrolavado de filtro, se observa que presenta aceptable calidad microbiológica. Los microorganismos determinados no refieren riesgo sanitario alguno. (Ver anexo N° 08). Los parámetros indicados de color pertenecen a la variedad insectos y helmintos.

Parámetros relevantes que reducir del agua residual

El resultado de los análisis fisicoquímicos del agua residual de lavado de filtros se comparó con la norma en vigencia actual de Estándares de Calidad

Ambiental (ECA) de Agua, decretados por el MINAM, así como se muestra a continuación en las siguientes tablas.

Tabla N° 14. Estándares de calidad ambiental - aguas destinadas a la producción de agua potable - A2

Parámetro	Unidad	Resultado análisis	Norma ECA
Aluminio Residual	mg/l	0,45	5
Cobre	mg/l	0,09	2
Hierro	Mg/l	0,07	1
Conductividad	µs/cm	398	1600
DBO ₍₅₎	mg/l	8,07	5
pH	---	7,80	5,5 - 9,0
Temperatura	°C	25,40	Δ3
Turbiedad	NTU	525	100
SST	mg/l	4 500	---

Fuente: Ministerio del ambiente [17] - Epsel S. A.

En la tabla N° 14 se comparó el análisis fisicoquímico realizado al agua de retrolavado de filtros respecto a los estándares de calidad que exige la norma para la categoría A2 (Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional). La tabla indica que el agua producto de la limpieza de los filtros no se puede regresar a cabecera de la PTAP y darle un tratamiento convencional, por motivo que sobrepasa los ECA -Categoría A2, en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Turbiedad (NTU). Sería necesario entonces usar un sistema de tratamiento con tecnología avanzada para reutilizar el agua de retrolavado.

En la siguiente tabla N° 15, se presentan la comparación del resultado del análisis fisicoquímico del agua de retrolavado con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento Avanzado – categoría A3.

Tabla N° 15. Estándares de calidad ambiental - aguas destinadas a la producción de agua potable - A3

Parámetros	Unidad	Resultado análisis	Norma ECA
Aluminio Residual	mg/l	0,44	5
Cobre	mg/l	0,09	2
Hierro	mg/l	0,07	5
Conductividad	mg/l	398	---
DBO ⁽⁵⁾	mg/l	8,07	10
pH	---	7,80	5,5 - 9,0
Temperatura	°C	25,40	---
Turbiedad	NTU	525	---
SST	mg/l	4 500	---

Fuente: Ministerio del ambiente [17] - Epsel S. A.

Categoría A3- Aguas destinadas a la producción de agua potable con tratamiento avanzado. La tabla N° 15, muestra la comparación de los parámetros físicos químicos encontrados en el agua de lavado de filtros de EPSEL S.A. junto a los Estándares de Calidad Ambiental que deben caracterizar al agua para ser potabilizada con un tratamiento avanzado. Por lo tanto, se demuestra que el agua procedente del lavado de filtros cumple con los ECA establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM) categoría A3, por lo que para su tratamiento es necesario usar tecnología avanzada en vez de una convencional.

Debido a la calidad del agua residual, lo ideal sería tratarla y destinarla para consumo humano, sin embargo, para que esta agua residual cumpla con los lineamientos y sea apta para consumo humano se deben reducir sus parámetros para que su calidad cumpla con los límites máximos permisibles exigidos por la norma peruana decretada por DIGESA.

La siguiente tabla N° 16, presenta comparación entre el análisis microbiológico y Estándares de calidad categoría A3 - Agua apta para ser potabilizada.

Tabla N° 16. Comparación análisis microbiológico vs ECAS aguas a ser potabilizadas A3

Parámetro	Unidad	Resultado análisis	Norma ECA
Bacterias Termotolerantes (44,5°C)	UFC/100 ml	480	2000
Coliformes Fecales	UFC/ 100 ml	120	2000
Bacterias Patógenas Salmonella	NMP/ 100 ml	Ausente	---
Enterococos	NMP/ 100 ml	Ausente	---
Levaduras	Límite/ml= 1x10 ³	Ausente	---
Mohos Contaminantes y/o Patógenos	---	Ausente	---
Huevos, Larvas, Pupas y/o Adultos de Insectos contaminantes y/o patógenos	Organismo/ml	Ausente	---
Huevos, Larvas, Quistes, Adultos Gusanos Nematodos (Helmintos)	Organismo/ml	Ausente	---
Protistas parásitos en su forma de quistes y/o adultos	Organismo/ml	Ausente	---

Fuente: Dirección Regional de Salud (DIGESA) [18] – UNPRG.

De acuerdo con la tabla N° 16, se demostró que el agua de retrolavado de filtro, cumple con los estándares de calidad señalados por la normativa peruana para su tratamiento con tecnología avanzada para su posible potabilización.

La finalidad del tratamiento del agua de lavado de filtro es potabilizarla y venderla como agua de consumo humano. por ello se utilizó el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, mediante el cual se aprueba los “estándares de calidad para aguas que pueden ser potabilizadas con tratamientos convencionales y avanzados” y bajo el artículo 3 y subcategoría A, en donde se determina los requisitos que deben cumplirse para aquellas aguas que previo “tratamiento” son destinadas al consumo humano.

El agua de lavado de filtro se compara con límites máximos permisibles de aguas aptas para el consumo humano según la norma, con la finalidad de cuantificar en cuanto debe ser reducida el parámetro para que cumpla dichas condiciones de ingesta humana.

Por ejemplo, si comparamos la turbidez que contiene el agua de lavado (525 NTU)

- No cumple con el requisito de composición para su potabilización con tratamiento convencional, pues la norma (categoría A - 2) indica mínimo 100 NTU.
- Si cumple con el requisito para su tratamiento con tecnología avanzada (categoría A-3) como ultrafiltración, la cual indica que la turbidez puede ser mayor a 500 NTU.

Los límites máximos permisibles indican que el agua tratada debe tener 5 NTU para que sea aprobada para su consumo. Entonces la cantidad que debe ser reducida de NTU en el agua de lavado debe ser mayor a 520 NTU, para asegurar su calidad. Esto indica que se debe reducir en 99% el nivel de turbidez lo que implica utilizar una tecnología que pueda proporcionar estas características al agua después de su tratamiento.

Entonces la comparación de los parámetros del agua de lavado de filtros con los límites máximos permisibles de agua de consumo humano permite:

Saber el porcentaje que debe ser reducido el parámetro analizado para seleccionar una tecnología de tratamiento con dicha característica de eliminación.

El propósito del tratamiento de agua es darle el mejor uso posible, que es destinarla al consumo humano. Por ello no solamente se compara con los estándares de calidad, pues estos solo son requisitos para un tratamiento avanzado, en cambio los límites máximos permisibles indican hasta donde debe llegar el agua tratada en su composición para su aprovechamiento.

En la siguiente tabla N° 17, se presenta los parámetros a reducir del agua de retrolavado de filtro para cumplir los límites máximos permisibles establecidos por la OMS y DIGESA.

Tabla N° 17. Comparación de análisis fisicoquímico agua lavado filtros vs LMP de agua potable

Parámetros	Unidad	Resultado Análisis	Norma LMP
Aluminio Residual	mg/l	0,44	0,02
Cobre	mg/l	0,09	2
Hierro	mg/l	0,07	0,3
Conductividad	mg/l	398	1500
DBO₅	mg/l	8,07	No Aplica
pH	---	7,80	5,5 - 9,0
Temperatura	°C	25,40	0
Turbiedad	NTU	525	5
SST	mg/l	4 500	---

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla N°17 observamos parámetros que deben ser reducidos (negrita) en el tratamiento así como otros parámetros que se encuentran dentro de los lineamientos de agua potable.

En el caso del aluminio residual, su ingesta por vía oral podría producir toxicidad aguda en el ser humano. Es un factor de riesgo para el desarrollo o aparición temprana de la enfermedad de Alzheimer en el ser humano. Se reconocen los efectos beneficiosos del uso de aluminio como coagulante en el tratamiento del agua. Teniendo esto en cuenta, y también los posibles efectos perjudiciales para la salud del aluminio (es decir, su posible neurotoxicidad) es necesario reducir la presencia de este elemento en el agua [11].

En el caso del DBO₅, la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica. Contribuye a la proliferación de bacterias. Este parámetro deberá ser reducido a 0 para el aprovechamiento del agua residual.

En el caso de la turbidez, no se ha propuesto ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la turbidez; idóneamente, sin embargo, la turbidez mediana debe ser menor que 0,1 UNT para que la desinfección sea eficaz, y los cambios en la turbidez son un parámetro importante de control de procesos [28].

El resultado de los análisis microbiológicos realizados al agua residual de lavado de filtros se comparó con la norma en vigencia actual de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Agua, decretados por el MINAM así como se muestra a continuación en las siguientes tablas.

A continuación, se presenta la tabla N°18 donde se compara los parámetros del análisis microbiológico con LMP de agua apta para consumo humano.

Tabla N° 18. Comparación de resultados de análisis microbiológico vs LMP

Parámetro	Unidad	Resultado	Norma LMP
Bacterias Termotolerantes (44,5°C)	UFC/100 ml	480	0
Coliformes Fecales	UFC/ 100 ml	120	0
Bacterias Patógenas Salmonella	NMP/ 100 ml	Ausente	0
Enterococos	NMP/ 100 ml	Ausente	0
Levaduras	Límite/ml= 1×10^3	Ausente	0
Mohos Contaminantes y/o Patógenos	---	Ausente	0
Huevos, Larvas, Pupas y/o Adultos de Insectos contaminantes y/o patógenos	Organismo/ml	Ausente	0
Huevos, Larvas, Quistes Y/O Adultos De Gusano Nematodos (Helminthos)	Organismo/ml	Ausente	0
Protistas parásitos en su forma de quistes y/o adultos	Organismo/ml	Ausente	0

Elaboración propia

UFC= Unidades formadas por colonias

Técnica NMP por tubos múltiples = < 1,8/100 ml

Como se puede notar en la tabla anterior, el agua de retrolavado de filtros presenta ligera contaminación fecal, por lo deben ser reducidos a cero durante su tratamiento si se desea aprovechar el agua para consumo.

En el caso de coliformes termotolerantes, en la mayoría de las aguas, el género predominante es *Escherichia*. Se considera que *Escherichia coli* es el indicador de contaminación fecal más adecuado. Se debe eliminar estos microorganismos debido a que repercute directamente en la salud del ser humano y animales.

Debe haber ausencia de coliformes totales inmediatamente después de la desinfección, pues la presencia de estos microorganismos indica que el tratamiento es inadecuado.

A continuación, se presenta la tabla resumen del análisis fisicoquímico y microbiológico de los parámetros que deben ser reducidos para el aprovechamiento del agua en el consumo humano.

Tabla N° 19. Resumen de parámetros a reducir de agua de lavado

Parámetro	Unidad	Resultado de análisis
Aluminio Residual	mg/l	0,44
DBO ₍₅₎	mg/l	8,07
Turbiedad	NTU	525
SST	mg/l	4 500
Bacterias Termotolerantes (44,5°C)	UFC/100 ml	480
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	120

Elaboración propia

En la tabla anterior, observamos solo los parámetros que deben ser reducidos y en algunos casos eliminados en su totalidad. En vista de los parámetros observados anteriormente, tanto en el análisis fisicoquímico como en el microbiológico, se determinó lo siguiente:

El parámetro pH (Potencial Hidrogeno) del efluente del PTAP N° 02 tienen un valor de 7,80 unidades, por lo tanto, se encuentra dentro de los Estándares de Calidad de la normativa peruana, donde señala que el pH de aguas destinadas a consumo humano tratadas con tecnología avanzada debe estar entre 5,5 y 9. De igual manera se encuentra dentro de los límites máximos permisibles del reglamento agua apta para consumo. Teniendo un valor óptimo es ideal para su tratamiento.

El valor del Aluminio Residual obtenido en el análisis fisicoquímico es un valor que requiere tratamiento con tecnología avanzada. Su valor está dentro de los lineamientos de los Estándares de Calidad del Ministerio del Ambiente (MINAM) que establece el valor de 5 mg/l para su tratamiento. Sin embargo, para su adaptabilidad al consumo humano su valor debe reducirse a menos de 0,2 mg/l así como lo establece la organización mundial de la salud por su potencial peligro en la salud de las personas.

El valor de la Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5) obtenido del análisis fisicoquímico de agua de retrolavado fue de 8,48 mg/l. Este resultado se encuentra dentro de las especificaciones de los Estándares de Calidad categoría A3 - aguas destinadas a ser potabilizadas con tecnología avanzada. A3. DBO_5 es una principal característica de las aguas residuales y provoca una serie de reacciones negativas en las disposiciones finales. Debe trabajarse en reducir este resultado obtenido a cero.

El resultado de Turbidez en el agua residual de retrolavado expresado en NTU, es muy elevado, sin embargo, se encuentra dentro de las especificaciones de los Estándares de calidad categoría A3 - aguas destinadas a ser potabilizadas con tecnología avanzada. El valor de 517 NTU que se registró, indica que es necesario su reducción debido a que turbidez es el principal causante de proteger a los microorganismos de los efectos de desinfección. La OMS indica 5 NTU como valor en aguas de consumo humano. Por esta razón la turbiedad en uno de los parámetros más importantes a reducir con el sistema de tratamiento.

El valor Temperatura del agua de retrolavado de filtro es de 25,40 °C. Aunque no se registra dato sobre Estándares de Calidad para este parámetro, una temperatura alta del agua potencia la proliferación de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión. El valor obtenido es óptimo para un tratamiento con tecnología avanzada.

El resultado de cobre fue de 0,09 mg/l. Este valor cantidad está muy por debajo del estándar de calidad por lo que se considera un parámetro estable y poca preocupación.

El contenido Hierro del efluente tiene valor de 0,07 mg/l considerado no influyente en la elección del sistema de tratamiento porque no supera los lineamientos de estándares de calidad que deben tener aguas destinadas al tratamiento para consumo humano. Inclusive no sobrepasa los Límites Máximos Permisibles de aguas aptas para la ingesta humana cuyo valor es 0,3 mg/l según DIGESA.

La conductividad eléctrica en el agua de retrolavado resulto tener un valor de 398 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Aunque no hay registro de Estándares de Calidad categoría A3 para su tratamiento con tecnología avanzada, la OMS si establece límite máximo permisible (LMP) de 1 500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ en agua potable. la conductividad eléctrica está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua, por lo tanto, el valor obtenido resulta ser óptimo para su tratamiento.

El contenido de sólidos suspendidos totales en el agua de lavado de filtros es 4 500 mg/l. aunque no existe especificación alguna en los ECAS - Categoría A2 y A3. Este parámetro es una de las principales características del agua de lavado de filtros. Fue muy importante en el balance de materia.

El contenido de Bacterias Termotolerantes en el agua residual de 420 UFC/ml es un indicador que se encuentra dentro de los lineamientos los ECAS - categoría A3 para ser potabilizada. Aunque el valor es aceptable, éste debería reducirse a cero para el aprovechamiento del agua residual.

El registro de bacterias patógenas, Enterococos, Mohos Contaminantes, Insectos Y Helmintos resulto ausente, siendo favorable para su aprovechamiento sobre todo en el consumo humano previo tratamiento.

Finalmente se concluye que, las aguas residuales (provenientes del lavado de filtros) generados en la planta de tratamiento de agua potable N°2 de EPSEL Lambayeque, deben pasar por un tratamiento con tecnología avanzada para reducir la carga química, microbiana y orgánica de su estructura, por lo que será necesario identificar qué tipo sistema se deberá implementar para reducir la contaminación de estas aguas.

3.2 EVALUAR DIFERENTES TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES PARA IDENTIFICAR EL SISTEMA MÁS IDÓNEO PARA SU APROVECHAMIENTO

El resultado del análisis evidenció presencia elevada de aluminio, DBO₅ y turbiedad. Coliformes termotolerantes, coliformes indicadores de contaminación fecal y sólidos suspendidos. Los valores registrados de cada uno requieren ser reducidos y otros eliminados para poder obtener agua potable apta de consumo.

Como solución al problema de la Empresa se propuso implementar de un sistema de tratamiento del agua residual del lavado de los filtros. Sin embargo, para llevar a cabo dicha implementación primero se identificó el tratamiento idóneo para este efluente, partiendo de sus características fisicoquímicas. La fuente bibliográfica fue de ayuda para conocer los tipos de sistemas usados en el tratamiento de este tipo de aguas residuales. Además, como EPSEL S. A. no trata sus efluentes ni cuenta con un proyecto para ello, fue necesario conocer las diferentes etapas del sistema de tratamiento a través del cual el agua de retrolavado de los filtros serán tratados.

3.2.1 Tecnología de tratamiento

Como se vio anteriormente, para el tratamiento del agua de lavado de los filtros se necesita tecnología avanzada. Según la World Health Organization [29], las tecnologías avanzadas para convertir agua residual en agua aprovechable en el consumo humano son microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF), ósmosis inversa (OI), electrodiálisis inversa (EI). Por ello fueron evaluadas cada una de ellas según sus ventajas en el tratamiento.

3.2.1.1 Microfiltración

La microfiltración elimina los sólidos en suspensión de tamaño superior a 0,1 – 1,0 μm y es efectiva eliminando los patógenos de gran tamaño como *Giardia* y *cryptosporidium*. Remueve turbidez, algunos quistes de protozoos, algunas bacterias y virus. [30]

Dependiendo la calidad del agua, las membranas de MF pueden eliminar algo de materia orgánica natural. La eliminación de Materia orgánica natural por las

membranas de MF también se puede mejorar mediante la coagulación. Como se señaló anteriormente, microfiltración puede requerir pretratamiento químico, dependiendo de las características de la corriente de reciclaje y los objetivos del tratamiento. Además, se necesitarán instalaciones para la limpieza de la membrana [30].

A continuación, en la tabla N° 20 se presenta el rendimiento y propiedades de separación de la membrana microfiltración:

Tabla N° 20. Rendimiento de separación de microfiltración

Propiedades	Unidad	Rendimiento
Mecanismo de separación	---	Tamizado
Tamaño de poro	µm	0,1 – 20
Presión de operación	bar	0,2 – 1,0

Fuente: David Russell [31]

Según la tabla N° 20, la microfiltración con membrana tiene un efecto matiz, es decir, la separación se basa fundamentalmente en la relación existente entre el diámetro de las partículas y el tamaño de poro de la membrana.

Según la Environmental Protection Agency (EPA) en el documento “*manual de reciclaje de retrolavado de filtro*”[15] se informa acerca de un estudio realizado por Thompson, sobre la prueba a escala piloto de MF para el tratamiento de la corriente de reciclaje. Se usó una membrana con un tamaño de poro nominal de 0,2 µm en todas las pruebas. En estas pruebas, el agua del retrolavado del filtro gastado con turbidez de alrededor de 500 NTU se redujo a menos de 5 NTU.

La siguiente tabla N°21 presenta algunos datos de calidad de agua tratada con tecnología Microfiltración según Diana Mourato [32].

Tabla N° 21. Datos de tratamiento de agua superficial con microfiltración

Propiedades	Calidad de agua tratada
Giardia y Cryptosporidium	no detectable > 6 log de remoción
Coliformes	< 10 UFC/100 ml
Sólidos suspendidos	no detectable
Recuento de partículas	< 3 partículas /ml
Turbiedad	< 0,1 NTU

Fuente: David Russell [31]

Microfiltración tiene la ventaja de remover la turbiedad en el agua hasta <0,1 NTU. Los sólidos suspendidos resultan indetectables. Reducción de coliformes hasta llegar a <10 UFC/100 ml.

En el caso de Giardia parásitos que perjudican el aparato digestivo del ser humano y animales los resultaron fueron no detectables al igual que *Cryptosporidium*, parásito causante de diarrea en el consumidor de agua.

En el libro “*tratamiento de aguas residuales un enfoque práctico*” de David Russell. [31], la calidad de un efluente tratado con sistema de microfiltración colabora en reducir el DBO₅ menor a 2,5 mg/l, eliminación de sólidos suspendidos y alta remoción de turbidez y coliformes. En cuanto a la limpieza de la membrana varían desde unas pocas horas hasta 24 h. La limpieza química se realiza desde semanalmente hasta mensualmente. Entre otras ventajas se mencionan la eliminación de coagulante, menor espacio para su instalación, entre otros.

3.2.1.2 Ultrafiltración

La ultrafiltración se emplea para eliminar toda partícula coloidal (incluyendo microorganismos patógenos) y alguno de los contaminantes disueltos más grandes (0,01 mm). Puesto que las partículas coloidales se eliminan, el agua tratada debe tener una turbidez nula. La siguiente tabla informa en rendimiento de separación de ultrafiltración

Tabla N° 22. Rendimiento de separación ultrafiltración

Propiedades	Unidad	Rendimiento	Propiedades
Mecanismo de separación	---	tamizado	Mecanismo de separación
Tamaño de poro	µm	0,01 – 0,1	Tamaño de poro
Presión de operación	bar	1-5	Presión de operación

Fuente: David Russell [31]

El rendimiento de separación de la membrana mencionado antes, en la tabla N° 22, Demuestra que el tamaño de poro que oscila entre 0,01 y 0,1 Micras, pudiendo remover los constituyentes muy pequeños como coloides y virus. El rango de presión de operación es de 1 a 5 Bar. Algunas ventajas de UF son:

- Reduce la materia orgánica entre el 50 y 90%.
- Con la adición de coagulantes, se puede utilizar para la remoción de arsénico.
- Mejor inversión.
- Costos operativos reducidos.

Las membranas UF (tamaño de poro 0,01 - 0,1 µm) se caracterizan por la universalidad al purificar agua de composición diferente. Elimine de forma efectiva del agua las impurezas finamente dispersas, coloides, algas, microorganismos unicelulares, quistes, bacterias y virus. Al mismo tiempo, ello no retiene sales solubles en agua, lo que permite mantener la composición de sal natural del agua natural. Además, UF se caracterizan por una conductancia específica muy alta superando a la Nanofiltración. Sin embargo, estas ventajas UF pueden realizarse en su totalidad bajo la condición de prevenir el ensuciamiento de la membrana [33].

3.2.1.3 Nanofiltración

La tecnología de nanofiltración elimina contaminantes superiores a un tamaño de 0,001 mm, sin embargo, no acaba con todos los sólidos disueltos. También llamada ablandamiento por membrana por la eliminación de los iones de dureza. También elimina virus.

A continuación, en la siguiente tabla se presenta el rendimiento de operación de la tecnología de nanofiltración.

Tabla N° 23. Rendimiento de separación nanofiltración

Propiedades	Unidad	Rendimiento
Mecanismo de separación	---	tamizado
Tamaño de poro	µm	0,001 – 0,01
Presión de operación	bar	5 – 6,7

Fuente: David Russell [31]

Según la tabla N° 23, la nanofiltración con membrana tiene un efecto matiz, es decir, la separación se basa fundamentalmente en la relación existente entre el diámetro de las partículas y el tamaño de poro de la membrana. Este tipo de membrana tiene tamaños de poros tan pequeños como 0,001 µm. logrando la eliminación de materia orgánica disuelta y algunos iones divalentes como los de calcio y magnesio. Los rangos de presión son 5 a 6,7 Bar.

Se requiere un pretratamiento muy riguroso, ya el agua de alimentación tiene una turbidez menor que 1 NTU, de lo contrario se podría dañar las membranas que a su vez produciría reducción de productividad del sistema, problemas operativos, reducir la vida útil de la membrana [34].

La agencia de protección ambiental de los estados unidos (EPA) [35] proporciona algunas características del tratamiento avanzado de NF.

Las membranas de Nanofiltración estas hechas de los mismos materiales y a través de los mismos procesos que las membranas de Ósmosis inversa. Además, requiere los mismos pasos de pretratamiento que OI.

Permiten el paso de más iones monovalentes, al tiempo que rechazan iones inorgánicos altamente cargados y constituyentes orgánicos de mayor peso molecular.

Puede tener un menor costo que IO. Sin embargo, NF aún puede proporcionar una calidad de agua efluente muy similar a IO en cuanto a reducir sólidos totales disueltos. El ensuciamiento de membranas suele ser más rápido que las de IO.

Desventajas

Proporcionan menos eliminación de sólidos totales disueltos que las membranas de ósmosis inversa.

3.2.1.4 Ósmosis inversa

La OI puede eliminar del agua más del 99% de todos los minerales disueltos y compuestos orgánicos, así como la materia biológica y coloidal en suspensión [31]. Se requiere un pretratamiento muy riguroso, ya que el agua de alimentación tiene una turbidez menor que 1 NTU, de lo contrario se podría dañar las membranas que a su vez produciría reducción de productividad del sistema, problemas operativos y reducir la vida útil de la membrana.

La energía necesaria para su funcionamiento depende de la capacidad del sistema de bombeo y las presiones del funcionamiento. El promedio está entre 2 y 5 kW/m³. A continuación, en la tabla N° 24, se presenta el rendimiento de la membrana ósmosis inversa.

Tabla N° 24. Rendimiento de separación de ósmosis inversa

Propiedades	Unidad	Rendimiento
Mecanismo de separación	---	tamizado
Tamaño de poro	µm	0,001 – 0,01
Presión de operación	bar	5 – 6,7

Fuente: David Russell [31]

El rendimiento de Ósmosis inversa permite que solo moléculas de agua puedan pasar a través del filtro. Los rangos de presión son de 13,4 - 80,4 Bar.

A continuación, se presenta la tabla N° 25 donde se especifican los parámetros de funcionamiento de un sistema de ultrafiltración.

Tabla N° 25. Parámetros de funcionamiento para sistemas de ósmosis inversa

Propiedades	Unidad	Rendimiento	Propiedades
Presión	kPa	---	1200 - 1800
Temperatura	°C	15,5 - 37,7	21,1
Flujo	l(min/m ²)	17 - 136	20 a 60
Capacidad de planta	%	75-95	80
Factor de rechazo	%	85 - 99,5	95
Vida de membrana	años	---	2
pH		3 a 8	4,5
Turbidez	NTU	---	1
Velocidad de agua	m/s	0,012 - 0,76	---
Potencia utilizada	kwh/m ³	2 a 5	---

Fuente: David Russell [31]

Con el uso continuo, las membranas se recubren de sustancias indeseadas, por los que se debe prever su limpieza mecánica y/o química. Aproximadamente 1 a 1,5 % de agua del proceso se utiliza para la limpieza y 24 o 48 horas de tiempo. Pretratamiento: limitan su aplicación a aguas que excedan los 100 g/l. además se debe controlar en el pretratamiento hierro, calcio, manganeso, los aceites y las grasas también deben eliminarse para prevenir e incrustaciones en membranas.

3.2.1.5 Electrodialisis inversa

Se utiliza para aguas con alto contenido en sales disueltas y se realiza mediante una separación a través de una serie de membranas situadas sucesivamente y separadas entre sí milímetros a la que se le aplican campos eléctricos con diferencias de potencial mediante electrodos, esto provoca una separación iónica según la carga eléctrica [36].

Ventajas

- Funciona idealmente en agua con concentración de STD de 1 000 a 5 000 mg/l, y puede tratar agua con concentraciones que alcanzan los 10 000 a 12 000 mg/l.
- Capaz de reducir el TDS mediante la eliminación de iones cargados.
- Eficaz en eliminación de bromuro, que puede reducir la formación de bromato.

-Con respecto a la reutilización potable, El solo se aplicarían en situaciones donde otros procesos unitarios capaces de eliminar sólidos suspendidos totales, patógenos y contaminantes emergentes se incluyen en el tren de tratamiento.

Desventajas

- Presenta un alto mantenimiento muy parecido a ósmosis inversa.
- Puede que no retenga arsénico y boro.
- Se recomienda un post tratamiento.

3.2.2 Factores de ponderación

3.2.2.1 Eficiencia de remoción

Es el porcentaje de remoción de las cargas contaminantes de las aguas. Para determinar este factor se analizó la eficiencia de remoción de las diferentes opciones de tratamiento mencionados en el *Compendium Reúse Potable* de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos [35]

En la tabla N° 26 mostrada a continuación demuestra la eficiencia de remoción de carga contaminante de los diferentes tratamientos de tecnología avanzada.

Tabla N° 26. Remoción de contaminantes por tratamiento

Parámetros		Carbono orgánico T.	SST	SDT	Comp. químicos	Patógenos
Tipo de tratamiento						
Remoción sólidos suspendidos	Microfiltración	R (Mínimo)	R	---	---	R ⁶
	Ultrafiltración	R (Mínimo)	R	---	---	R ⁶
Reducción de disolventes químicos.	Nanofiltración	R ³	R	R	R ¹	R
	Ósmosis I.	R ³	R	R	R ¹	R
	Electrodialisis	---	---	R	---	---

Fuente: Environmental Protection Agency (EPA) [35]

En la tabla N° 26 se analiza la eliminación de carbono orgánico total, SST= sólidos sedimentables totales y SDT= sólidos disueltos totales a través de diferentes opciones avanzadas de tratamiento de agua.

Los colores significan

Rosa = sin impacto,

Naranja = impacto parcial

Verde = impacto significativo

R = Constituyentes que se eliminan físicamente

R¹ = Algunos componentes químicos pueden tener eficiencias de eliminación de OI inferiores al 90%. Además, es probable que la OI tenga una mayor eficacia de eliminación que la NF.

R³ = La remoción de carbono orgánico total en 40-60% para carbón activado y 98% para Ósmosis inversa y Nanofiltración.

R⁶ = MF y UF pueden eliminar bacterias y protozoos. MF no se considera una barrera efectiva contra los virus, mientras que UF puede eliminar virus hasta cierto punto.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, la tecnología con mayor remoción de sólidos y patógenos es Ósmosis inversa.

3.2.2.2 Costo de tecnología

Para evaluar el costo de los diversos tratamientos, se tomó como base función que propone Tianjiao Guo *et al.* [37], en su investigación: “*Revisión de costos vs escala aguas y aguas residuales proceso de tratamiento para su reutilización*”.

A continuación, se presenta en la siguiente Tabla N° 27 la ecuación designada al tipo de tratamiento para evaluar su costo. Donde (y= costo) y (x= la capacidad m³/d.)

Tabla N° 27. Costo de tecnología según tratamiento

Tipo de tratamiento	Ecuación de costo	Ranking de costo
Microfiltración	---	1
Ultrafiltración	$\log (y)=0,966*(\log(x))^{0,929}+3,082$	1
Nanofiltración	---	2
Ósmosis inversa	$\log (y)=1,003*(\log(x))^{0,830}+3,832$	3
Electrodiálisis inversa	---	4

Fuente: Tianjiao Guo *et al.* [36]

En la tabla anterior N°27, la ecuación con el mayor valor resultante es ósmosis inversa, sin embargo, se conoce que el costo de Electrodiálisis Inversa se encuentra por encima de OI, por ello se designó el número 4. la tecnología con mayor costo Electrodiálisis Inversa.

En caso de Microfiltración, según Karen D. Pickering y Mark R. Wiesner [38], el costo de MF es similar a UF para pequeñas instalaciones con diseños $\approx 20 \text{ m}^3/\text{h}$. siendo este similar al sistema propuesto por ello se le dio el valor de 1. Del mismo modo se señala que Nanofiltración tiene un costo por encima de MF y UF, pero inferior a OI, por lo que le designamos el número 2.

3.2.2.3 Desechos generados

El factor desechos generados por las tecnologías es un factor determinante para elegir el tratamiento más favorable en la reutilización del agua de retrolavado de filtro. La tecnología con características de menor impacto ambiental apoya el fundamento del aprovechamiento del agua residual.

A continuación, se presenta la tabla N° 28, la cual informa acerca de desechos generados por las diferentes opciones de tratamiento de agua.

Tabla N° 28. Desechos generados por tecnología

Tecnología	Retrolavado	Limpieza Química	Desechos Químicos
Microfiltración	5%	Mensual	R
Ultrafiltración	5%	Mensual	R
Nanofiltración	1,5%	Trimestral	NR
Ósmosis inversa	1,5%	Trimestral	NR
Electrodialisis Inversa	---	---	---

Fuente: Agencia de protección ambiental de EE. UU [39]

Según la tabla N° 28, tanto Microfiltración como ultrafiltración, utilizan sistema de retrolavado para la limpieza de las membranas aproximadamente el 5% de la producción. Además, los productos químicos que utilizan para su mantenimiento se reutilizan en 90% [39].

R= Se recicla el 90% de productos químicos usados en la limpieza de la membrana para su reutilización.

NR= No se reciclan los productos químicos usados en su limpieza [39].

Para los sistemas de nanofiltración y ósmosis inversa, utilizan 1,5 % de la producción de agua en retrolavado para la limpieza de las membranas, sin embargo, los productos químicos utilizados para el mantenimiento de membranas no se reciclan generando residuos contaminantes peligrosos [39].

De acuerdo con lo mencionado anteriormente UF y MF son las tecnologías con menor generación de desechos.

3.2.2.4 Capacidad de flujo

La capacidad de flujo hace referencia a la producción de agua purificada definido como la cantidad de producto recuperado por día por unidad de área de membrana.

Tabla N° 29. Capacidad de flujo según tratamiento

Tipo de tratamiento	Flujo l/m²*d
Microfiltración	400-600
Ultrafiltración	400-800
Nanofiltración	10-35
Ósmosis inversa	12-20
Electrodialisis inversa	---

Fuente: James R. Mihelcic et al [40]

En la tabla anterior, la tecnología con mayor ventaja en cuanto a producción de agua es ultrafiltración. Este factor es importante pues la recuperación de agua simboliza reducción de costos por la venta de agua recuperada.

En el caso de Electrodialisis inversa, la capacidad de flujo es proporcional a la presión que ejerce la tecnología. Esto significa que, a mayor presión, mayor capacidad de flujo. Según la American Membrane technology Association, Electrodialisis Inversa ejerce una presión de 80 a 100 PSI equivalente a 5,5 a 6,9 bar, estando por debajo de ósmosis inversa. Con ello se deduce que EI, tendría un flujo menor que OI [41].

3.2.2.5 Área del terreno para instalación

El área que requiere el equipo de filtración para su instalación dentro de la planta es un indicador importante, pues a través de conocer sus dimensiones se determinó lo accesible y factible de su instalación dentro de la planta EPSEL. El área de terreno que ocupa el equipo de tratamiento condiciona también su elección.

A continuación, se presenta la tabla N° 30, donde se observa el tamaño de los diferentes sistemas de tratamiento avanzado de agua.

Tabla N° 30. Área de terreno requerido para instalación de planta

Tipo de tratamiento	Tamaño
Microfiltración	modular
Ultrafiltración	modular
Nanofiltración	modular
Ósmosis inversa	modular
Electrodialisis Inversa	modular

Fuente: Zachary Hendren *et al.* [42]

La tabla N° 30, señala que MF, UF, NF, OI y EI, su tamaño es modular, esto quiere decir que su instalación se puede realizar inclusive en un área superior sin la necesidad de requerir terreno [42]. Por ello cualquier tecnología de membrana es factible en cuanto a área de instalación para el tratamiento del agua residual.

3.2.2.6 Uso de energía

La energía que necesita el tratamiento para su funcionamiento nos permite saber el costo que implica su operatividad. Según la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos [35] en su informe “*compendio de reutilización potable*” los trenes de tratamiento sin membrana tienen los menores costos. Por ejemplo, los trenes de tratamiento basados en Ósmosis inversa emplean procesos mecánicamente intensivos, que resultan en 2,5 veces más electricidad que otros sistemas de tratamientos.

En la siguiente tabla N° 31 se observa el consumo de energía que emplean los diferentes tratamientos de tecnología avanzada según James Mihelcic [40].

Tabla N° 31. Energía empleada por tratamiento

Tipo de tratamiento	Consumo de energía kWh/m ³
Microfiltración MF	0,4
Ultrafiltración UF	0,3
Nanofiltración NF	0,6 – 1,2
Ósmosis inversa OI	1,5 – 2,5
Electrodialisis inversa EI	---

Fuente: James Mihelcic. [40]

De acuerdo con la tabla N° 31, donde se observa el consumo de energía de los diferentes tipos de tratamiento, destaca ultrafiltración como la tecnología de membrana que menos energía consume.

La presión de membranas es proporcional al consumo de energía que requieren los diferentes tipos de tratamiento. En el caso de electrodiálisis inversa, la presión que ejerce el sistema es mayor a nanofiltración [41], por lo cual su consumo de energía también estaría por encima de Nanofiltración considerando un consumo de energía elevado a diferencia de las demás.

3.2.2.7 Producto apto para su reutilización

La recuperación de agua con alta calidad representa el indicador más importante. Sin embargo, también la cantidad de agua recuperada para su disposición es el factor más influyente en esta investigación.

A continuación, en la tabla N°32, se presenta las tecnologías con mayor ventaja de recuperación de agua para su reutilización potable según una investigación realizada por la World Health Organization y la Agencia de Protección Ambiental EE. UU.

Tabla N° 32. Recuperación de agua según tipo de tratamiento

Tipo de tratamiento	Recuperación de agua %
Microfiltración	98%
Ultrafiltración	98%
Nanofiltración	---
Ósmosis inversa	99%
Electrodiálisis inversa	65%

Fuente: EPA [35] - WHO [29]

En la tabla N° 32, se observa la recuperación del agua tratada para su aprovechamiento. La diferencia entre las tecnologías es muy corta. La tecnología con mayor aprovechamiento de agua es Ósmosis inversa.

3.2.2.8 Mano de obra requerida

Contar con personal capacitado significa un costo que diferencia a cada sistema de tratamiento ofreciendo diferentes ventajas.

La tabla N°33 que a continuación se observa, presenta el nivel de costo asignado a cada tipo de tratamiento de tecnología avanzada a través de una ecuación según Tianjiao Guo [37].

Tabla N° 33. Costo de mano de obra y mantenimiento

Tipo de tratamiento	Mano de obra y mantenimiento	Ranking de costo
Microfiltración	---	2
Ultrafiltración	$\log (y)=1,828*(\log(x))^{0,598}+1,876$	1
Nanofiltración	---	5
Ósmosis inversa	$\log (y)=0,534*(\log(x))^{1,253}+2,786$	4
Electrodialisis Inversa	---	3

Fuente: Tianjiao Guo *et al.* [37]

Según la tabla anterior, el número más bajo representa al tipo de tratamiento con menor costo. En el caso de Microfiltración según el punto 3.2.1.1 necesita instalaciones para la limpieza de membrana, por lo que le asignamos número 2.

En el caso de Nanofiltración, según el punto 3.2.1.3, el ensuciamiento de la membrana suele ser más rápido que OI, por lo que le asignamos 5.

En el caso de Electrodialisis inversa, según el punto 3.2.1.5 presenta un alto mantenimiento muy parecido a OI, por lo que le asignamos el mismo ranking 4.

3.2.3 Confrontación de factores ponderados

Posteriormente habiendo analizado cada uno de los factores, se procedió a asignarle una letra a cada uno de ellos para su fácil interpretación en la matriz de confrontación de factores y así determinar de acuerdo con la mayor puntuación el sistema de tratamiento más idóneo para nuestra agua residual.

- A= Eficiencia de remoción
- B= Costo de tecnología
- C= Desechos generados
- D= Capacidad de flujo
- E= Área de terreno para instalación
- F= Consumo de energía
- G= Calidad de agua tratada
- H= Mano de Obra requerida

En la siguiente tabla N° 34 se presenta la comparación de los factores para su ponderación.

Tabla N° 34. Análisis de factores ponderados

	A	B	C	D	E	F	G	H	Conteo	Ponderación
A		1	1	1	1	1	1	1	7	16,7%
B	0		1	1	1	1	1	1	6	14,3%
C	0	1		0	1	1	0	1	4	9,5%
D	0	1	1		1	1	0	1	5	11,9%
E	1	0	1	0		0	1	1	4	9,5%
F	1	1	1	1	1		0	1	6	14,3%
G	1	1	1	1	1	1		1	7	16,7%
H	0	0	1	0	1	1	0		3	7,1%
TOTAL									43	100%

Para el análisis de factores ponderados se aplicó criterio de relación entre ellos que determina factores más relevantes de acuerdo con la relación que existe entre estos. El valor 1 indica más importancia con relación al otro factor confrontado, de igual manera valor 0 indica menos importante en relación con el factor confrontado.

Según el análisis entre los factores ponderados que se observan en la tabla N° 34, la eficiencia de remoción designado con la letra “A”, su importancia es mayor

que el costo de tecnología “B”, los desechos generados “C”, capacidad de flujo “D” y mano de obra requerida “H” y de igual importancia que el área de instalación “E”, consumo de energía “F” y la calidad del agua tratada “G”. también el “G” es de mayor importancia que desechos “c”, capacidad de flujo “d”, energía “f” y mano de obra “h” y de igual importancia que la eficiencia, el costo y el área de terreno para la instalación de la tecnología. La ponderación más alta fue para la eficiencia de remoción y calidad de agua tratada obtenido un valor de 17% en ambos. Esto se corrobora con el propósito del proyecto. El valor más bajo fue para la mano de obra con 7% de ponderación.

Habiendo asignado un valor a cada factor, se calificaron de acuerdo con una escala presentada en la siguiente tabla N° 35 para determinar el tratamiento electo.

Tabla N° 35. Nivel de calificación

Nivel Escala	Calificación
Excelente	100
Muy optima	80
Optima	60
Regular	40
Mala	20

Elaboración propia

En base a la tabla N° 35, se procedió a asignar un puntaje correspondiente a cada uno de los tratamientos en mención para su elección. El puntaje va desde 20 como malo hasta 100 como excelente. A continuación, se presenta la tabla 36, donde se analiza los factores ponderados vistos anteriormente

Tabla N° 36. Análisis de factores ponderados para la elección de tratamiento

Tecnología de Tratamiento		Microfiltración		Ultrafiltración		Nanofiltración		Ósmosis inversa		Electrodiálisis Inversa	
Factor	Resultado Ponderado %	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje.
A	16,7%	60	10,02	60	10,02	100	16,7	100	16,7	20	3,34
B	14,3%	80	11,44	80	11,44	60	8,58	40	5,72	20	2,86
C	9,5%	40	3,8	60	5,7	80	7,6	80	7,6	60	5,7
D	11,9%	80	9,52	100	11,9	40	4,76	40	4,76	60	7,14
E	9,5%	60	5,7	60	5,7	60	5,7	60	5,7	60	5,7
F	14,3%	80	11,44	80	11,44	60	8,58	40	5,72	40	5,72
G	16,7%	80	13,36	80	13,36	100	16,7	100	16,7	60	10,02
H	7,1%	80	5,68	60	4,26	20	1,42	40	2,84	40	2,84
Total		70,96		73,82		70,04		65,74		43,32	

Elaboración propia

En la tabla N° 36, se analiza el resultado de los factores ponderados con respecto a los distintos tratamientos de tecnología avanzada para determinar al más adecuado en el sistema. En el factor eficiencia de remoción, indicado con letra “A”, las tecnologías con mayor ventaja son nanofiltración y ósmosis inversa, por ello se les calificó con un puntaje de 100 equivalente a excelente en este aspecto. El resultado de la calificación multiplicado por el % de resultado de ponderación nos da 16,7 de puntaje. La tecnología con menor puntaje en este factor fue electrodiálisis inversa. De la misma forma los diferentes tratamientos de tecnología avanzada fueron obteniendo diferentes puntajes de acuerdo con el desempeño relacionado al factor descrito. Al final la suma de los puntajes obtenidos nos indica el total de desempeño de cada tratamiento.

La tecnología ultrafiltración obtuvo un puntaje de 73,82 siendo el valor más alto respecto a los demás tratamientos. Tiene alta eficiencia en la capacidad de flujo, así como bajo costo de tecnologías, bajo consumo de energía y buena calidad de agua.

3.3 PROPUESTA DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA SU APROVECHAMIENTO

3.3.1 Pronóstico del efluente

Se realizó el pronóstico de agua de retrolavado de filtro de los años posteriores al 2018 desde 2019 hasta el 2021. EPSEL S. A. Lambayeque solo proporcionó información desde los meses abril 2017 - abril 2018 (Ver tabla N° 08) por lo que el pronóstico se realizó en base a este intervalo de datos. Antes de realizar el pronóstico del efluente, primero se observó el comportamiento del agua de lavado del filtro el cual se muestra a continuación en la siguiente figura N° 5.

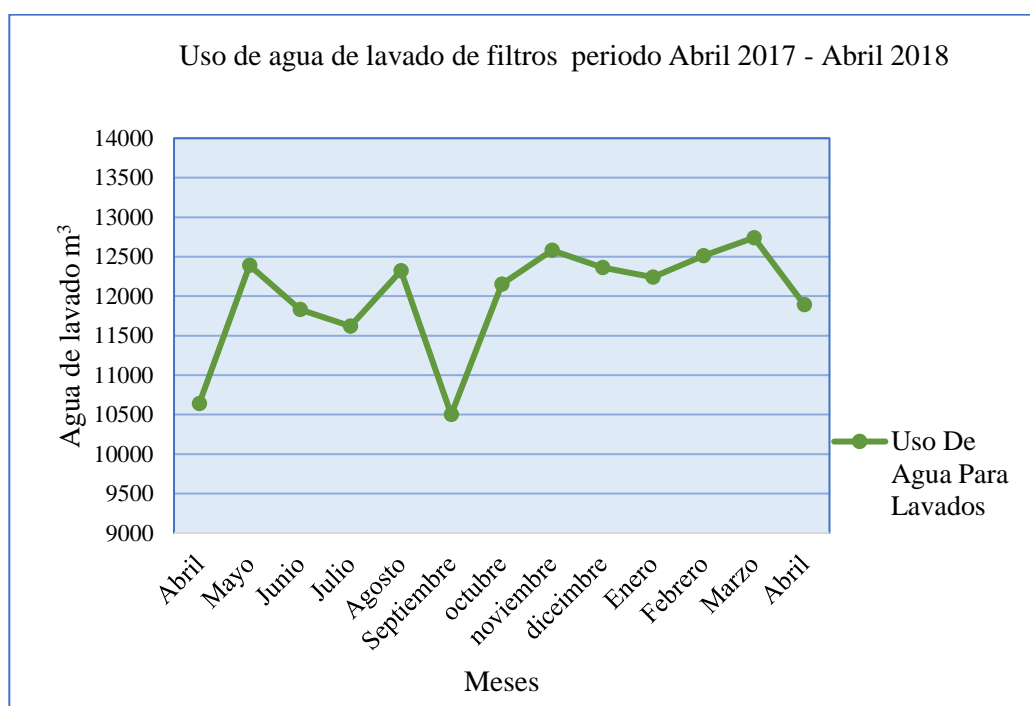


Figura N° 5. Comportamiento de agua residual periodo abril 2017- abril 2018.

Fuente: Epsel S. A. Lambayeque

En la figura N° 5, se observa el comportamiento del agua de lavado el cual se realizó en el programa Excel. El agua de lavado presenta un comportamiento variable y tendencia ligeramente creciente en el tiempo. La data obtenida es de un año. En base a lo anterior, se pronosticó la demanda utilizando el método de “suavización exponencial doble” cuyo margen de error es 2% [43].

- Variabilidad
- Tendencia creciente
- Data 1 año

Método: Suavización exponencial doble

La fórmula del método de suavización exponencial doble se presenta a continuación:

$$F_t = F_{t-1} + \alpha (A_{T-1} + F_{T-1})$$

Donde:

F_t = Pronóstico suavizado

A_t = Demanda real para el periodo t

α = Constante de suavizamiento para el promedio

$$T_t = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

Donde:

T = Tendencia suavizada para el periodo t

β = Constante de suavización de tendencia

$$FIT_t = F_t + T$$

Donde:

FIT_t = Pronóstico de demanda con tendencia

A continuación, la tabla N°, presenta el pronóstico del agua de retrolavado de filtro de los años 2019 - 2021.

Tabla N° 37. Pronóstico de agua de lavado de filtros generado en los años 2019-2023

Año	Mes	Agua residual m ³	Año	Mes	Agua residual m ³	Año	Mes	Agua residual m ³	Año	Mes	Agua residual m ³
MAYO 2019 - MAYO 2020	Mayo	10 890	JUNIO 2020 - JUNIO 2021	Junio	10 842	JULIO 2021 - JULIO 2022	Julio	10 788	AGOSTO 2022 - AGOSTO 2023	Agosto	10 714
	Junio	12 505		Julio	12 230		Agosto	11 958		Septiembre	11 672
	Julio	12 215		Agosto	12 273		Septiembre	12 286		Octubre	12 246
	Agosto	11 849		Septiembre	11 906		Octubre	11 982		Noviembre	12 062
	Septiembre	12 405		Octubre	12 369		Noviembre	12 359		Diciembre	12 377
	Octubre	10 698		Noviembre	10 789		Diciembre	10 882		Enero	10 981
	Noviembre	11 952		Diciembre	11 708		Enero	11 491		Febrero	11 298
	Diciembre	12 655		Enero	12 631		Febrero	12 565		Marzo	12 462
	Enero	12 545		Febrero	12 696		Marzo	12 841		Abril	12 971
	Febrero	12 356		Marzo	12 480		Abril	12 638		Mayo	12 827
	Marzo	12 554		Abril	12 600		Mayo	12 675		Junio	12 785
	Abril	12 803		Mayo	12 853		Junio	12 909		Julio	12 975
	Mayo	11 997		Junio	12 095		Julio	12 192		Agosto	12 288
TOTAL	157 421	TOTAL	157 469	TOTAL	157 566	TOTAL	157 659				

Elaboración propia

En la tabla N° 37, se puede observar que el pronóstico de agua residual anual para el primer año (periodo mayo 2019 - mayo 2020) ascendió en 1 651 m³ significando un aumento de 1%, sin embargo, para el tercer año disminuyó en 165 m³. El total de agua residual para el último año se estimó en 157 659,00 m³.

Los datos se hallaron de la siguiente manera:

$$FIT_t = F_t + T$$

$F_t = 10\ 640$ se repite el primer dato del año

$T = 250$ Se toma un valor al azar por ser el primer dato.

Entonces el primer valor obtenido es de

$$FIT_t = 10\ 640 + 250$$

$$FIT_t = 10\ 890$$

El siguiente mes de junio se obtuvo de la siguiente manera

$$F_t = F_{t-1} + \alpha (A_{T-1} + F_{T-1})$$

$$F_t = 10\ 640 + 0,7(12\ 390 + 10640)$$

$$F_t = 11\ 865$$

$$T_t = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

$$T_t = 0,4(11865 - 11640) + (1 - 0,4)250$$

$$T_t = 640$$

$$FIT_t = F_t + T$$

$$FIT_t = 10\ 890 + 640$$

$$FIT_t = 12\ 505$$

El método utilizado también se puede observar en el anexo N° 9. El pronóstico del efluente se observa en la tabla N° 37.

3.3.2 Área disponible para la instalación de sistema de tratamiento.

El sistema de tratamiento propuesto debe ser instalado dentro de planta N° 2 de Epsel S. A. cerca de los buzones de almacenamiento de agua de lavado.

No se pudo tener acceso al plano de la planta N° 02, sin embargo, se pudo obtener un aproximado del área disponible para la instalación del sistema mediante diferentes métodos mostrados a continuación:

Medición del terreno disponible dentro de EPSEL: Se midió las dimensiones del área libre dentro de la planta N° 2. Se utilizó wincha y la ayuda de un operario. (ver anexo N° 10). Las medidas del área total disponible de terreno libre fueron de 298,7 m².

Medición mediante Google Earth Pro: Se usó el programa Google Earth Pro para medir las dimensiones del terreno disponible a través de la vista satelital del programa. (ver anexo N° 11). El resultado del área disponible fue de 293,25 m²

Para corroborar esta información se usó las medidas de los equipos (información accesible) existentes en la planta de EPSEL S. A. estos mismos equipos se midieron con el programa Google Earth Pro para comparar la similitud de medidas y saber que tan exacto es el programa.

Las medidas de los equipos de los cuales EPSEL S. A. brindó información fueron los siguientes:

Tabla N° 38. Medidas de equipos de planta N° 02 Epsel - Lambayeque

Equipo	Dimensiones			Volumen m ³
	Largo	Ancho	Altura	
desarenadores	20	6	3,30	396,00
Decantador	6,2	5,7	106,02	106,02
Filtro convencional	4,6	3,3	39,46	39,46

Fuente: EPSEL S. A. Lambayeque

A continuación, se detalla la figura N° 5 con las mediciones hechas de la vista satelital de los equipos en el programa Google Earth Pro.



Figura N° 6. Medida de equipos con vista satelital

Fuente: Google Earth Pro

En la figura anterior se observa la medición de sedimentador con el programa. El área del equipo se nota en el recuadro. 120,35 m² arrojó como resultado el programa.

Al comparar el resultado del área del sedimentador de la tabla N° 37 y el resultado del área del sedimentador de la figura anterior, son los mismos.

Área de sedimentador tabla N°38 ≈ área de sedimentador en Google Earth Pro

$$\text{Largo x Ancho} = 20 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 120 \text{ m}^2 \approx 120,35 \text{ m}^2$$

En base a lo antes mencionado se estima que la Planta de Agua Potable N° 02 – **EPSEL S. A. Lambayeque** tiene disponibles **293 m²** disponibles para la instalación de los equipos que conforman el sistema de tratamiento propuesto.

3.3.3 Gasto del efluente

La eliminación del efluente se realiza por horas. El agua de retrolavado de filtro es enviada a dos buzones de almacenamiento y luego bombeada a la cámara de lodos. Las dimensiones del buzón son las mismas para ambos de 7 m de profundidad por 2,4 m de diámetro.

$$\text{Volumen del cilindro} = \pi r^2 h$$

$$\text{Remplazando} = \pi * 7 \text{ m} * (1,22 \text{ m})^2 = 31,66 \text{ m}^3$$

Cada buzón de almacenamiento tiene una capacidad de 31,66 m³ por los que el almacenamiento total sería de 63,32 m³

El bombeo del agua de retrolavado a los buzones de almacenamiento se realiza aproximadamente en 30 minutos (15 minutos de lavado y 15 de descarga) y durante las próximas 3 horas. Es enviado a la cámara de lodos para su desocupación y almacenamiento nuevamente del siguiente retrolavado.

Se eliminan aproximadamente 60 m³ de agua de retrolavado cada 3 horas equivalentes a 20 m³/h o también 5 l/s. que sería nuestro caudal. La generación de agua residual se realiza en forma intermitente porque el proceso en estudio es por lotes (batch). El agua de lavado de los filtros se encuentra en “**reposo**” listo para ser bombeado hacia la planta propuesta.

3.3.4 Proceso del sistema de tratamiento propuesto

3.3.4.1 Bombeo de agua de buzones

Inicialmente el agua de lavado de los filtros es bombeada desde su almacenamiento en los buzones hacia los equipos del sistema para su tratamiento a través de 2 bombas centrífugas de 1.5 HP. El impulsor que se encuentra dentro de la bomba centrífuga rota y hace rotar el líquido impartiendo fuerza centrífuga al agua que rápidamente se mueve hacia afuera de la bomba. En este caso a la tubería de impulsión. En el lado de succión, la presión negativa de un ojo hace que el impulsor succiona el agua. La tubería de succión es de mayor diámetro que el de impulsión. Para bombas de 1.5 HP, la tubería de succión e impulsión

deben ser de 2,5 y 2 pulgadas respectivamente. Las bombas centrífugas son ideales para aguas con alto contenido de partículas.

-Tuberías de succión: Las tuberías de succión están conectadas desde los buzones hasta las bombas y a través del impulsor hacia el sistema de tratamiento.

-Tubería de impulsión: Es la tubería encargada de transportar hasta los equipos que conforman el sistema.

-Válvula Check: La válvula check permite que el agua no se regrese al momento de ser succionada

-Válvula de compuerta. Permite controlar el flujo en caso de mantenimiento.

3.3.4.2 Sedimentación primaria

Al llegar el agua bombeada al sedimentador primario, se aprovecha la fuerza de la gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua. El agua de lavado de filtro está cargada de sulfato de aluminio, por ello esta carga es aprovechada en el sedimentador primario, y así evitar usar algún tipo de coagulante. El material fangoso es depositado en el fondo del sedimentador, para luego ser extraído y enviado a la cámara de lodos de la empresa Epsel.

La sedimentación primaria tiene una eficiencia de 70% en la eliminación de sólidos suspendidos totales, 30% de DBO. Su propósito es eliminar partículas mayores a 1 μm en el agua de lavado de filtros.

3.3.4.3 Coagulación floculación

El proceso de sedimentación mejora mediante la adición de productos químicos. El coagulante utilizado es cloruro férrico (FeCl_3) al 40%. La cantidad utilizada es 40 mg/l, así como lo indica M. Mahdavi en su investigación. Reduce aproximadamente el 98% de turbidez y 80% de sólidos disueltos. El coagulante es adicionado al ingreso del agua de lavado al floculador de tubos, el cual tiene una eficiencia de 85% en el proceso.

La coagulación se define como la desestabilización de la suspensión coloidal, y la floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración. Asimismo, la coagulación permite reducir de 50-85 % de la DBO y del 70-90% reduce los sólidos en suspensión seguido de una sedimentación (FONAM, 2010).

3.3.4.4 Sedimentación secundaria

Es el proceso de remoción de partículas discretas por acción de la fuerza gravedad. Una vez que sale el agua en tratamiento, sus partículas recargadas en el floculador serán barridas por el clarificador. La eficiencia en la remoción de partículas esta entre 70 y 98% de eficiencia. El clarificador también reduce el nivel microbiano en un 70 y 87%.

Los desechos generados son enviados a la cámara de lodos de Epsel a través de una bomba de lodos.

3.3.4.5 Ultrafiltración

Al salir el agua de lavado del clarificador pasa la etapa de ultrafiltración donde el agua a pasa a través de unos poros muy pequeños de una membrana inducido por una fuerza.

La eficiencia del equipo de ultrafiltración es 99.9% en la eliminación de contaminantes microbiológicos y entre 50 y 90% en materia orgánica. Una vez que el agua sale del proceso es enviada al tanque de contacto de cloro junto con el agua potable que sale de la planta Epsel para su posterior consumo.

A continuación, se presenta el **diagrama de bloques** del proceso de tratamiento propuesto.

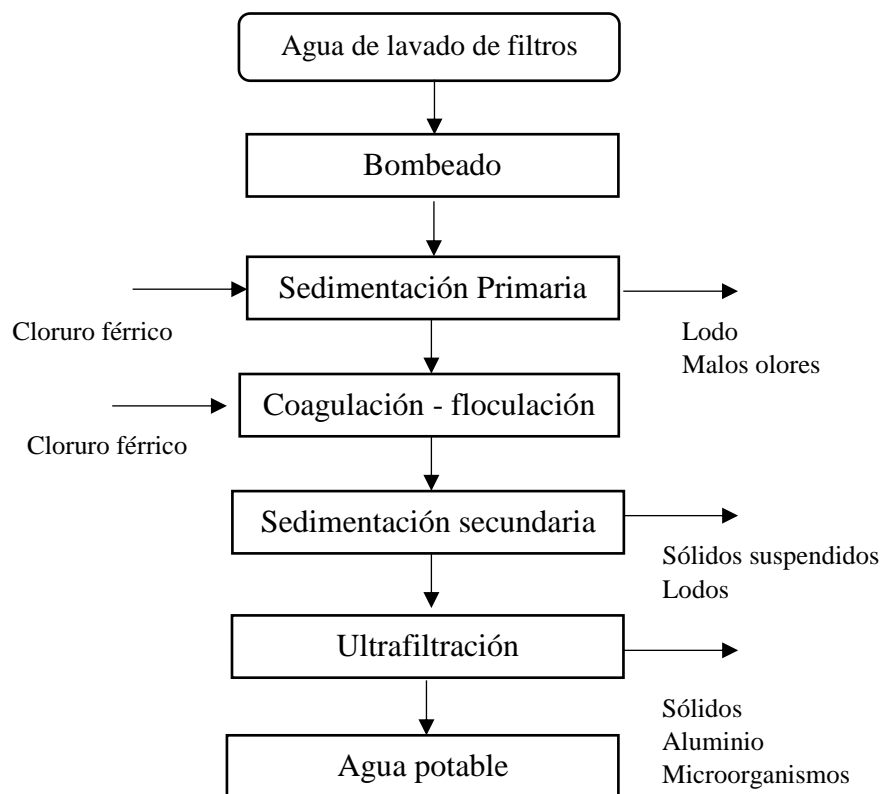


Figura N° 7. Diagrama de bloques del proceso de tratamiento agua de lavado de filtros propuesto

Elaboración propia

En la figura anterior se observa el proceso del tratamiento del agua de lavado de los filtros que empieza con la succión del agua residual contenida en los buzones para ingresarla a la primera etapa del proceso sedimentación primaria. Allí la mayor cantidad de sólidos serán asentados por gravedad. Inmediatamente el agua en tratamiento se mezcla con cloruro férrico al inicio del equipo de floculación y continuara su recorrido por el floculador de tubos. Al terminar el proceso, el agua residual esta lista para ser asentada los sólidos en el clarificador. Al final el agua residual pasa por el equipo de ultrafiltración donde se purificará el agua casi en su totalidad. En ella se eliminan el 99% de turbidez, sustancias químicas, patógenos, etc. Terminado el proceso de ultrafiltración el agua es evaluada y enviada al tanque de almacenamiento de agua potable para su disposición.

Allí la mayor cantidad de sólidos serán asentados por gravedad. Inmediatamente el agua en tratamiento se mezcla con cloruro férrico al inicio del equipo de floculación y continuara su recorrido por el floculador de tubos. Al terminar el proceso, el agua residual esta lista para ser asentada los sólidos en el clarificador. Al final el agua residual pasa por el equipo de ultrafiltración donde se purificará el agua casi en su totalidad. En ella se eliminan el 99% de turbidez, sustancias químicas, patógenos, etc. Terminado el proceso de ultrafiltración el agua es evaluada y enviada al tanque de almacenamiento de agua potable para su disposición.

3.3.5 Balance de materia

3.3.5.1 Sedimentación primaria

Se calculó la cantidad de lodos que se generarán, utilizando la cantidad de Sólidos Suspendidos Totales presentes en el efluente. Para el balance de materia es este proceso se tomó como referencia la norma peruana OS.090 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, donde nos indica porcentajes de remoción de diferentes parámetros basados en el tiempo de retención. Lo recomendado por la norma es 1 - 2 horas por periodo basado en el gasto diario del diseño [44]. A continuación, en la tabla se presenta lo mencionado anteriormente por la Norma OS. O90.

Tabla N° 39. Remoción de sedimentación primaria

Tratamiento	Sedimentación primaria
Parámetro	% Remoción
DBO	25% -30%
SST	40%-70%
Coliformes	40%
Parámetro	Remoción ciclos log10
Bacterias	0-1
Helmintos	0-1

Fuente: Norma OS.090 - MVCS [44]

SST = Sólidos Suspendidos Totales kg/m³

E = Eficiencia de remoción (40 -70%), se asumió 40% para un entorno crítico.

Primero convertimos el volumen del agua de retrolavado en peso utilizando la densidad de agua = 1 000 kg/m³

$$1\ 000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{Masa}}{\text{V}} \text{-----} 1\ 000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{Masa}}{420\ 000\ \text{m}^3}$$

420 000 kg = masa del efluente

Hallamos la cantidad de lodo removido por la etapa de sedimentación primaria.

$$\text{Sólidos S. T} = 4\ 500 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\ \text{kg}}{1\ 000\ 000\ \text{mg}} \times \frac{420\ 000\ \text{l}}{\text{d}}$$

$$\text{Sólidos S. T} = 1\ 890 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}$$

$$\text{Lodo} = \left(1\ 890 \frac{\text{Kg}}{\text{d}} * 0,4 \right)$$

$$\text{Lodo} = 756 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{Residuo sólidos agua} = 1\ 890 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - 756 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{Resultado final sólidos} = 1\ 134 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Al restar la cantidad de SST menos la remoción que proporciona la etapa de sedimentación primaria que es 756 kg/d, se obtiene 1 134 kg/d de sólidos en el agua en tratamiento.

Hallamos la cantidad de remoción de DBO₅. Se asumió un 25% de remoción de este parámetro.

$$\text{DBO}_5 = 8,07 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 0,000\ 080\ 7 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * 420\ 000 \frac{\text{l}}{\text{d}} = 3,38 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\text{Remoción DBO}_5 = 3,38 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - \left(3,38 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * \frac{25}{100} \right)$$

$$\text{Remoción DBO}_5 = 3,38 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - \left(0,84 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right)$$

$$\text{Resultado DBO}_5 = 2,54 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Al restar la cantidad de DBO_5 que se encuentra en el agua residual con la remoción de este parámetro de proporciona la sedimentación primaria, se obtiene 2,54 kg/d.

Hallamos la cantidad de remoción de Coliformes Termotolerantes. Se tomó el 40% como lo indica la norma OS.090

$$\text{R. Coliformes Termotolerantes} = 480 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} - \left(480 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} * 0,4 \right)$$

$$\text{R. Coliformes Termotolerantes} = 480 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} - \left(192 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} \right)$$

$$\text{Resultado Coliformes Termotolerantes} = 288 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}}$$

Según la norma, sedimentación primaria elimina el 40% de coliformes, por lo que al restarle este porcentaje a la cantidad de coliformes que se encuentran en el agua de lavado, obtenemos 288 UFC/100 ml.

Hallamos la cantidad de remoción de Coliformes Fecales se tomó 40% como lo indica la norma OS.090

$$\text{R. Coliformes Fecales} = 120 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} - \left(120 \frac{\text{NFC}}{100 \text{ ml}} * \frac{40}{100} \right)$$

$$\text{Resultado Coliformes Fecales} = 120 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} - \left(48 \frac{\text{NFC}}{100 \text{ ml}} \right)$$

$$\text{Resultado Coliformes Fecales} = 72 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}}$$

Según la norma, sedimentación primaria elimina el 40% de coliformes, por lo que al restarle este porcentaje a la cantidad de coliformes que se encuentran en el agua de lavado, obtenemos 72 UFC/100 ml.

No se detectaron bacterias ni helmintos en agua de retrolavado de filtro.

Hallamos la remoción de Turbidez. Se tomó como referencia el estudio realizado por la Agencia de Protección Ambiental donde indica que los sedimentadores eliminan como mínimo el 40% de NTU del agua en tratamiento. [15]

$$\text{Remoción Turbidez} = 525 \text{ NTU} - (517 \text{ NTU} * 0,4)$$

$$\text{Remoción Turbidez} = 525 \text{ NTU} - (206,8 \text{ NTU})$$

$$\text{Residuo de Turbidez} = 310,2 \text{ NTU}$$

La reducción de turbidez en la sedimentación primaria es el 40% que representa 206,8 NTU. Resultando 310,2 NTU en el agua en tratamiento.

Por último, se realiza el flujo másico final.

$$\text{Flujo másico final} = \text{ME}(-\text{MRL} + \text{MRDBO}_5 + \text{PP})$$

Donde:

MF= Masa del efluente

MRL= Masa residuo de lodo

MRDBO₅= Masa remoción de DBO₅

PP= Pérdida de agua en proceso = 1%

$$\text{Flujo m. f.} = 420\,000 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - (756 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 0,84 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + (420\,000 \frac{\text{kg}}{\text{d}} * 1\%))$$

$$\text{Flujo m. f.} = 420\,000 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - (756,84 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + (4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{d}} *))$$

$$\text{Flujo másico final} = (415\,043,2 \frac{\text{kg}}{\text{d}})$$

El flujo másico se obtiene se sumar las cantidades removidas de los diferentes parámetros y restarlos con la masa total del efluente. Así se obtiene 415 043,2 kg/d de flujo másico.

A continuación, en la figura siguiente se presenta el balance de masa de la etapa de sedimentación.

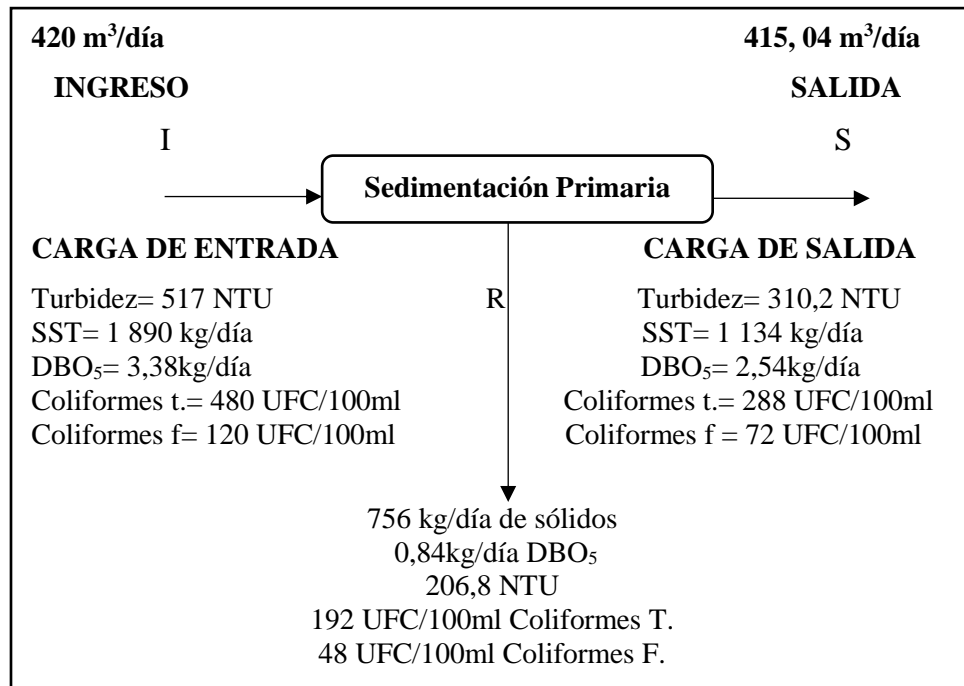


Figura N° 9. Resumen de balance de materia etapa de sedimentación primaria

Elaboración propia

La figura anterior muestra la primera etapa del sistema de tratamiento propuesto a EPSEL S. A. Lambayeque. en él se indica un resultado de turbidez de 310,2 NTU. Sólidos suspendidos totales en 1 134 kg/d. Demanda bioquímica de oxígeno en 2,54 kg/d. así mismo se redujo la carga microbiana obteniendo un valor de coliformes totales en 288 UFC/100 ml y coliformes fecales en 72 UFC/100 ml. La carga eliminada se compone de 756 kg/día lodo; 0,84 kg/día DBO₅ 206,8 NTU; 192 UFC/100ml Coliformes Totales y 48 UFC/100ml Coliformes Fecales.

3.3.5.2 Coagulación floculación

Según M. Mahdavi et al [1] en su investigación “*Eliminación de metales, metales pesados y microorganismos del agua de retrolavado del filtro gastado mediante procesos de coagulación híbrida-UF*” nos indica la cantidad de coagulante en relación con la turbidez presente en el agua. el agua de retrolavado de filtro tratada en esta investigación posee similar turbidez que el agua residual

de EPSEL. En base a ello, se consideró conveniente usar la misma dosificación de coagulante cloruro férrico en este caso 40 mg/l.

Para el proceso de coagulación se agrega cloruro férrico $FeCl_3$ con una dosificación de 40 mg/l.

$$\text{Coagulante } FeCl_3 = \left(40 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{kg}}{1\,000\,000\text{ mg}} \times 415\,043,2 \frac{\text{l}}{\text{d}} \right)$$

$$\text{Coagulante } FeCl_3 = 16,6 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Flujo másico final= Masa del Efluente + Masa de Coagulante

$$\text{Flujo másico final} = \text{ME} + \text{MG}$$

Donde:

MF= Masa de efluente

MG= Masa Coagulante

$$\text{Flujo másico final} = \left(415\,043,2 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 16,6 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \right)$$

$$\text{Coagulante } FeCl_3 = 415\,059,8 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

En el floculador, proceso de mezcla lenta las partículas se vuelven pesadas, sin embargo, no hay ningún ingreso de sustancias en esta ocasión. El siguiente proceso es sedimentación secundaria para que los flocs acumulados se eliminen del agua.

A continuación, en la figura N° 10, se presenta el balance de masa de la etapa coagulación - floculación del sistema propuesto.

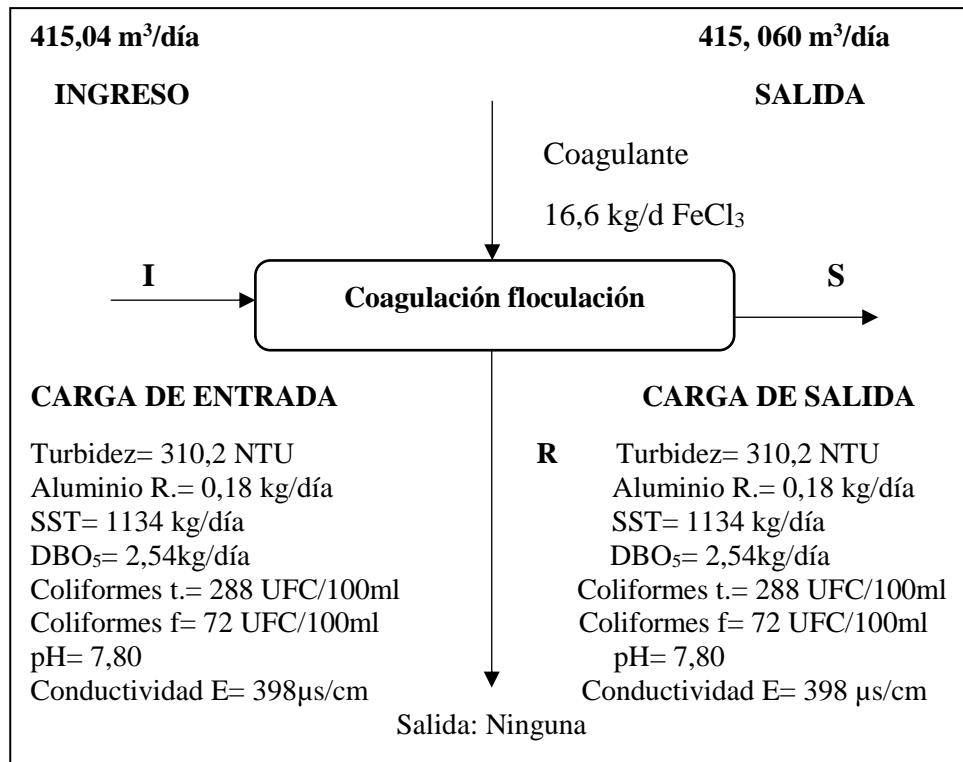


Figura N° 10. Resumen de balance de materia - coagulación floculación

Elaboración propia

En la figura anterior, se observa el balance de coagulación - floculación que refleja una salida de flujo de 415,06 m³/día, mayor al ingreso debido a la adición del coagulante cloruro férrico (FeCl₃).

3.3.5.3 Segunda sedimentación

Según M. Mahdavi et al [6], la investigación nos explica acerca de los diferentes resultados obtenidos de eliminación de contaminantes, sobre todo con la utilización del FeCl₃ como coagulante. En base a ello tomamos como referencia los datos de remoción.

Turbidez: 98%

Aluminio residual: 82%

Coliformes totales: 87%

Coliformes fecal: 70%

Conductividad: AUMENTA 6%

pH: 12%

SST: 80%

Remoción de turbidez.

$$\text{Remoción Turbidez} = 310,2 \text{ NTU} - (310,2 \text{ NTU} * 0,9\%)$$

$$\text{Remoción Turbidez} = 310,2 \text{ NTU} - (302,45 \text{ NTU})$$

$$\text{Remoción Turbidez} = 6,2 \text{ NTU}$$

La reducción de turbidez en la sedimentación secundaria es el 98% que representa 310,2 NTU. Resultando 6,2 NTU en el agua en tratamiento.

Remoción de aluminio

$$\text{Remoción Aluminio R.} = \left(0,44 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1\text{kg}}{1\,000\,000 \text{ mg}} \times \frac{415\,060 \text{ l}}{\text{d}} \right)$$

$$\text{Remoción Aluminio R.} = 0,182 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{Remoción Aluminio R.} = 0,182 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - \left(0,18 \frac{\text{kg}}{\text{d}} * 82\% \right)$$

$$\text{Remoción Aluminio R.} = \left(0,182 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - 0,147 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \right)$$

$$\text{Remoción Aluminio R.} = 0,034 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

La reducción de aluminio en la sedimentación secundaria es el 82% que representa 0,147kg/d. Resultando 0,034 kg/d en el agua en tratamiento.

Remoción de coliformes termotolerantes

$$\text{R. Coliformes Termot.} = 288 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} - \left(288 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} * \frac{87}{100} \right)$$

$$\text{R. Coliformes Termot.} = 288 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} - \left(250 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} \right)$$

$$\text{R. Coliformes Termot.} = 38 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}}$$

La reducción de coliformes termotolerantes en la sedimentación secundaria es el 87% que representa 250 UFC/100 ml. Resultando 38 UFC/100 ml en el agua en tratamiento.

Remoción de coliformes fecales

$$R. \text{ Coliformes Fecales} = 72 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} - \left(72 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} * \frac{70}{100} \right)$$

$$R. \text{ Coliformes Fecales} = 72 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} - \left(50,4 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} \right)$$

$$R. \text{ Coliformes Fecales} = 21,6 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}}$$

La reducción de coliformes fecales en la sedimentación secundaria es el 70% que representa 50,4 UFC/100 ml. Resultando 21,6 UFC/100 ml.

Aumento de conductividad eléctrica

$$\text{Conductividad Eléctrica} = 398 \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} + \left(398 \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} * 6\% \right)$$

$$\text{Conductividad Eléctrica} = 398 \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} + \left(23,88 \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} \right)$$

$$\text{Conductividad Eléctrica} = 421,88 \frac{\mu\text{S}}{\text{cm}}$$

Disminución de pH

$$\text{Potencial Hidrógeno} = 7,80 \text{ pH} - (7,80 \text{ pH} * 12\%)$$

$$\text{Potencial Hidrógeno} = 7,80 \text{ pH} - (0,93 \text{ pH})$$

$$\text{Potencial Hidrógeno} = 6,87 \text{ pH}$$

Sólidos suspendidos totales

$$\text{SST} = 1134 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - \left(1134 \frac{\text{kg}}{\text{d}} * 0,98 \right)$$

$$\text{SST} = 1134 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - \left(907,2 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \right)$$

$$\text{SST} = 226,8 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

La reducción de Sólidos suspendidos totales en la sedimentación secundaria es el 98% que representa 907,2 kg/d. Resultando 226,8 kg/d en el agua en tratamiento.

Hallamos el flujo másico final de la etapa de sedimentación secundaria.

$$\text{Flujo másico final} = \text{ME} - (\text{MA} + \text{MS} + \text{PP})$$

Donde: ME= Masa del efluente

MA= Masa del Aluminio

MS= Masa de sólidos suspendidos.

PP= Pérdida del proceso 1%

$$FMF = \left(415\,060 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - \left(0,034 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 907,2 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + \left(415\,060 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 1\% \right) \right) \right)$$

$$FMF = \left(415\,060 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - \left(5\,057,83 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) \right)$$

$$\text{Flujo másico final} = 410\,002,1 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

El flujo másico se obtiene de sumar las cantidades removidas de los diferentes parámetros obteniendo 5 057,83 kg/d. este resultado se resta con la masa total del efluente 415 060 kg/d. Así se obtiene de flujo másico final de 410 002,1 kg/d

A continuación, en la figura N° 11, se presenta el balance de masa de la etapa sedimentación secundaria del tratamiento propuesto.

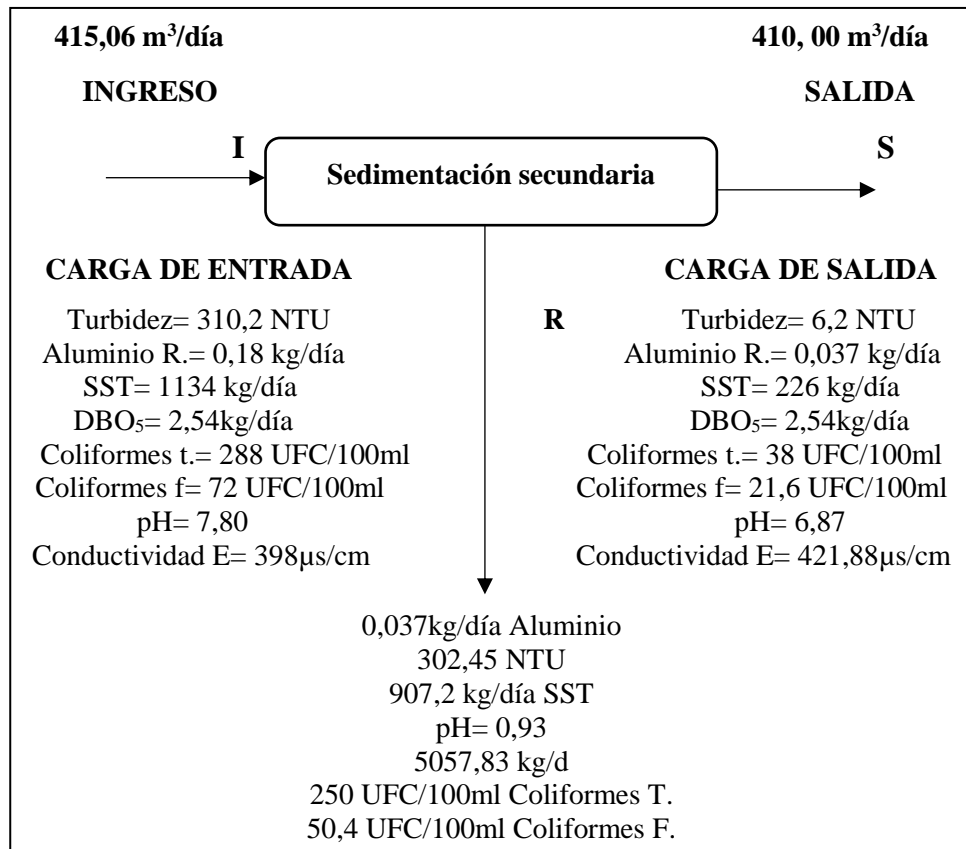


Figura N° 11. Resumen balance de materia de etapa sedimentación Secundaria

Elaboración propia

En la figura N° 11, se observa el balance de materia de la etapa de sedimentación donde la turbidez se reduce hasta 6,2 NTU, Aluminio Residual en 0,18 kg/día, sólidos suspendidos totales también mermo a 226 kg/d. En el caso de los organismos microbiológicos como los coliformes totales fueron reducidos a 38 UFC/100 ml y los coliformes fecales a 21,6 UFC/100 ml. Por otro lado, el pH del agua se redujo a 6,87 y conductividad eléctrica aumento a 421, 88 $\mu\text{s/cm}$

Se eliminan en este proceso fueron 0,037 kg/día Aluminio, 302,45 NTU, 907,2 kg/día SST, 250 UFC/100ml de Coliformes Totales, 4 UFC/100ml de Coliformes Fecales.

3.3.5.4 Ultrafiltración

Según M. Mahdavi et al [1] en su investigación “Eliminación de metales, metales pesados y microorganismos del agua de retrolavado del filtro gastado mediante procesos de coagulación hibrida-UF”. La remoción de los parámetros que caracteriza al agua residual es la siguiente:

Turbidez= 98,6%

DBO₅= 95%

SST=99,9%

Aluminio Residual= 83%

Según la OMS en su informe “Guías para la calidad del agua potable” [11] pagina 119, los filtros de membrana eliminan el 99,9% de contaminantes microbiológicos.

Coliformes T.= 99,9%

Coliformes F.= 99,9%

Remoción de turbidez

$$\text{Remoción Turbidez} = 6,2 \text{ NTU} - (6,2 \text{ NTU} - 98,6\%)$$

$$\text{Remoción Turbidez} = 6,2 \text{ NTU} - (6,11 \text{ NTU})$$

$$\text{Remoción Turbidez} = 0,08 \text{ NTU}$$

Remoción de DBO₅

$$\text{DBO}_5 = 2,54 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - \left(2,54 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 95\% \right)$$

$$\text{DBO}_5 = 2,54 \frac{\text{kg}}{\text{día}} - \left(2,41 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \right)$$

$$\text{DBO}_5 = 0,13 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

Remoción de sólidos sedimentables totales.

$$\text{Sólidos s. totales} = 226 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - \left(226 \frac{\text{kg}}{\text{d}} * 99,9\% \right)$$

$$\text{Sólidos s. totales} = 226 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - \left(225,7 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \right)$$

$$\text{Sólidos s. totales} = 0,2 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Remoción de aluminio residual

$$\text{Remoción Aluminio R.} = 0,037 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - \left(0,037 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 0,83 \right)$$

$$\text{Remoción Aluminio R.} = 0,037 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - \left(0,030 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \right)$$

$$\text{Remoción Aluminio R.} = 0,007 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

Remoción de coliformes termotolerantes

$$\text{R. Coliformes Termot.} = 38 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} - \left(38 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} * 99,9\% \right)$$

$$\text{R. Coliformes Termot.} = 38 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} - \left(38 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} \right)$$

$$\text{R. Coliformes Termot.} = 0 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}}$$

Remoción de coliformes fecales

$$\text{R. Coliformes Fecales} = 21,6 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} - \left(21,6 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} * 99,9\% \right)$$

$$\text{R. Coliformes Fecales} = 21,6 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} - \left(21,6 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}} \right)$$

$$\text{R. Coliformes Fecales} = 0 \frac{\text{UFC}}{100 \text{ ml}}$$

Hallamos el flujo másico final

$$\text{Flujo másico final} = \text{ME} - (\text{MDBO}_5 + \text{MA} + \text{MSST})$$

Donde:

ME= Masa Efluente

MDBO₅= Masa remoción Demanda bioquímica Oxígeno

MA= Masa remoción de Aluminio

MSST= masa remoción de sólidos suspendidos

$$\text{Flujo m. f.} = 410\,002,1 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - \left(2,41 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 0,03 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 225,7 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \right)$$

$$\text{Flujo m. f.} = 410\,002,1 \frac{\text{kg}}{\text{d}} - 228,1 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

$$\text{Flujo m. f.} = 409\,774 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$$

El flujo másico se obtiene de sumar las cantidades removidas de los diferentes parámetros obteniendo 228,1 kg/d este resultado se resta con la masa total del efluente 415 060 kg/d. Así se obtiene de flujo másico final de 409,774 kg/l.

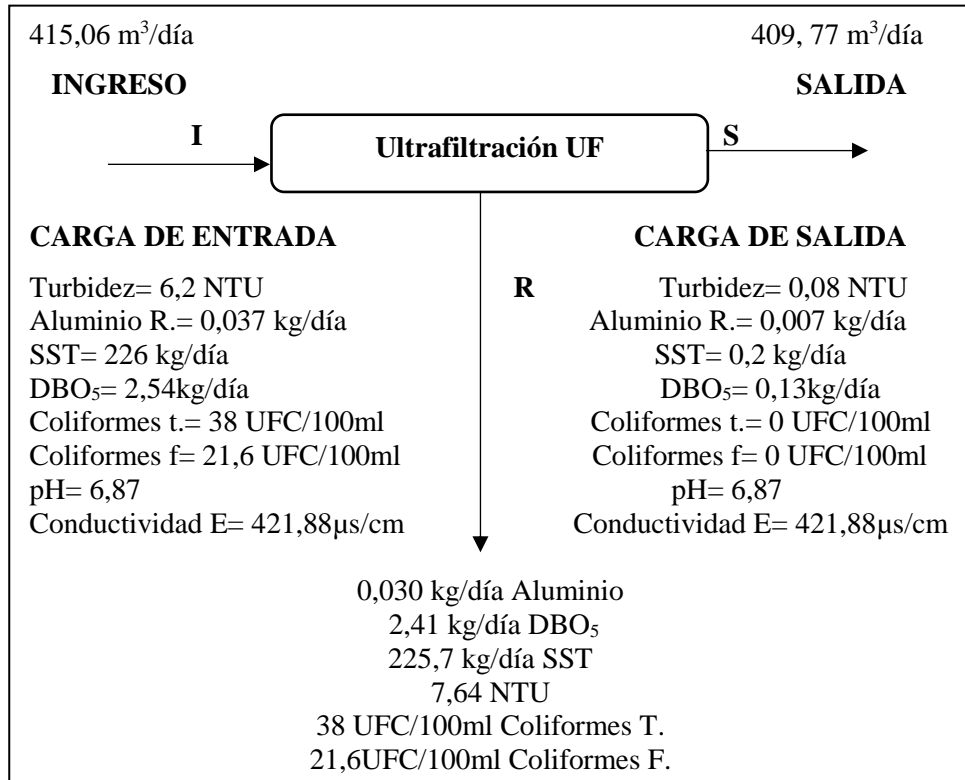


Figura N° 12. Resumen de balance de materia de etapa de ultrafiltración

Elaboración propia

Como se puede observar en la figura N° 12, en el balance de materia de la etapa Ultrafiltración, se remueve 0,030 kg/día de aluminio residual, reduciendo significativamente la presencia de este parámetro en el agua de retrolavado. También se redujo la turbidez en 7,64 NTU; 2,41 kg/día de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅); 225,7 kg/día de sólidos. Por último, la presencia de microorganismos patógenos se eliminó en su totalidad quedando agua lista para su aprovechamiento.

3.3.5.5 Desechos generados

Como cada proceso tiene residuos, en nuestro caso también del tratamiento de agua de lavado de filtros tendrá sus efluentes. A continuación, se presenta la siguiente tabla con los desechos generados en las diferentes etapas.

Tabla N° 40. Desechos generados por el tratamiento en las diferentes etapas

Etapa de proceso	Unidad	Desecho			Total
		Lodo	Aluminio	Agua	
Sedimentación	Kg/d	756,00	---	4 200,0	4 956,84
2da Sedimentación	Kg/d	907,20	0,037	4 150,2	5 965,06
Ultrafiltración	Kg/d	225,70	0,030	---	228,14
Total	---	1 888,86	0,067	8 530,2	11 150,04

Elaboración propia

La tabla N° 40 nos muestra los desechos generados en las diferentes etapas del sistema de tratamiento propuesto. De los 420 000 kg/d de agua residual que ingresan a la planta de tratamiento de agua, se reutilizaran 40 9757,58 kg/d equivalente a 409,7 m³/d además, se eliminan 11 150,04 kg/d en desechos producto del tratamiento.

3.3.5.6 Cuadro comparativo entre balance de masa y especificaciones

Realizado el balance de masa de las etapas del sistema de tratamiento de agua de retrolavado de filtro, se comparó los resultados del balance con la normativa peruana de LMP vigentes de esta categoría el fin de buscar su mejor aprovechamiento. Se desea aprovechar el agua recuperada para consumo humano.

A continuación, se presenta la tabla N° 41 donde se comparan los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles del agua de consumo humano.

Tabla N° 41. Resultado de tratamiento agua de lavado y LMP agua potable.

Parámetro	Unidad	Análisis FQ. y M	Resultado Tratamiento	Norma LMP	% Remoción
Aluminio Residual	mg/l	0,44	0,01	0,02	97,7%
Cobre	mg/l	0,09	0,09	2	---
Hierro	Mg/l	0,07	0,07	0,3	---
Conductividad. E	µs/cm	398	421,88	1500	---
DBO ₅	mg/l	8,07	0,13	---	96%
pH	---	7,80	6,87	5,5 - 9,0	12%
Temperatura	°C	25,40	25,41	---	---
Turbiedad	NTU	525	0,08	5	99,9%
SST	mg/l	4 500	0,48	1 000	99,9%
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 ml	480	0	0	100%
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	120	0	0	100%

Elaboración propia

El resultado de las características del agua de lavado con el tratamiento propuesto se comparó con el reglamento de la calidad del agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA. (Límites Máximos Permisibles) pues se desea aprovechar el agua para tal fin. Se observa que todos los parámetros se encuentran por debajo de los LMP. Aluminio Residual fue reducido en un 97% resultando 0,007 kg/día equivalente a 0,01 mg/l. DBO₅ se redujo en 96% resultando 0,13 kg/día equivalente a 0,31 mg/l. En el caso de pH se redujo en 12% resultando 6,87 pH y la conductividad eléctrica aumenta en 6% resultando 421,88 µs/cm. También se pudo reducir en un 99,9% los STD y la turbidez y en el caso de las bacterias fueron eliminadas en su totalidad. Por último, de 420 m³

de ingreso de agua, aproximadamente se desechan 10,24 m³ resultando 409, 77 m³ de agua para reutilizar.

3.3.6 Indicadores de rendimiento de capacidad de planta

Representa la máxima producción teórica del agua de lavado de filtro tratado.

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Capacidad real}}{\text{Capacidad Proyectada}}$$

Producción real

Producción anual más reciente, teniendo en cuenta que EPSEL S. A. Lambayeque trabaja las 24 horas día.

$$R = 155\,770 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ mese}} \times \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}$$

Capacidad proyectada

Es la producción del último año en proyección refiriéndose en este caso al año 2021.

$$P = 157\,659 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} \times \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}}$$

$$CP = 18,24 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}$$

Remplazando en utilización:

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Capacidad real}}{\text{Capacidad Proyectada}}$$

$$\text{Utilización} = \frac{18,02 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}}{18,24 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}} \times 100$$

$$\text{Utilización} = 97 \%$$

Máxima producción del sistema de tratamiento del efluente propuesto.

Eficiencia de planta

La eficiencia es el resultado del agua residual tratada después del balance de materia menos entre el volumen de las aguas residuales sin tratar.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Efluente Tratado}}{\text{Efluente Sin Tratar}} \times 100$$

El caudal del agua lavado tratado obtenido en el balance de materia fue:

$$\text{AGUA LAVADO TRATADA} = 409,7 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}$$

$$\text{AGUA LAVADO TRATADA} = 17,07 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El caudal de ingreso de agua de lavado de filtro sin tratar al sistema fue de:

$$\text{AGUA LAVADO TRATADA} = 420 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}$$

$$\text{AGUA LAVADO TRATADA} = 17,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Remplazando en formula de eficiencia

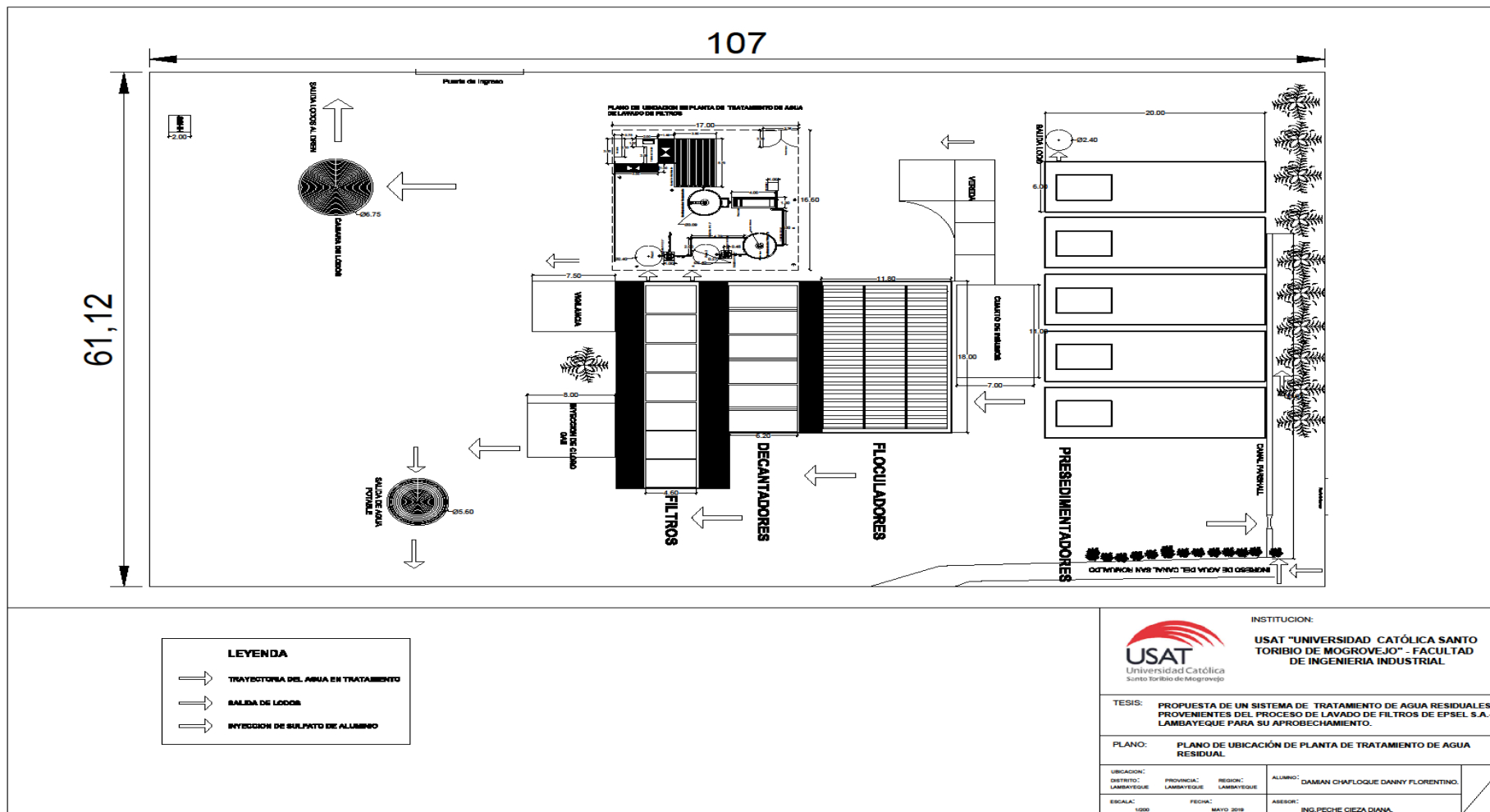
$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{efluente tratado}}{\text{efluente sin tratar}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{17,07 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{17,5 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} \times 100$$

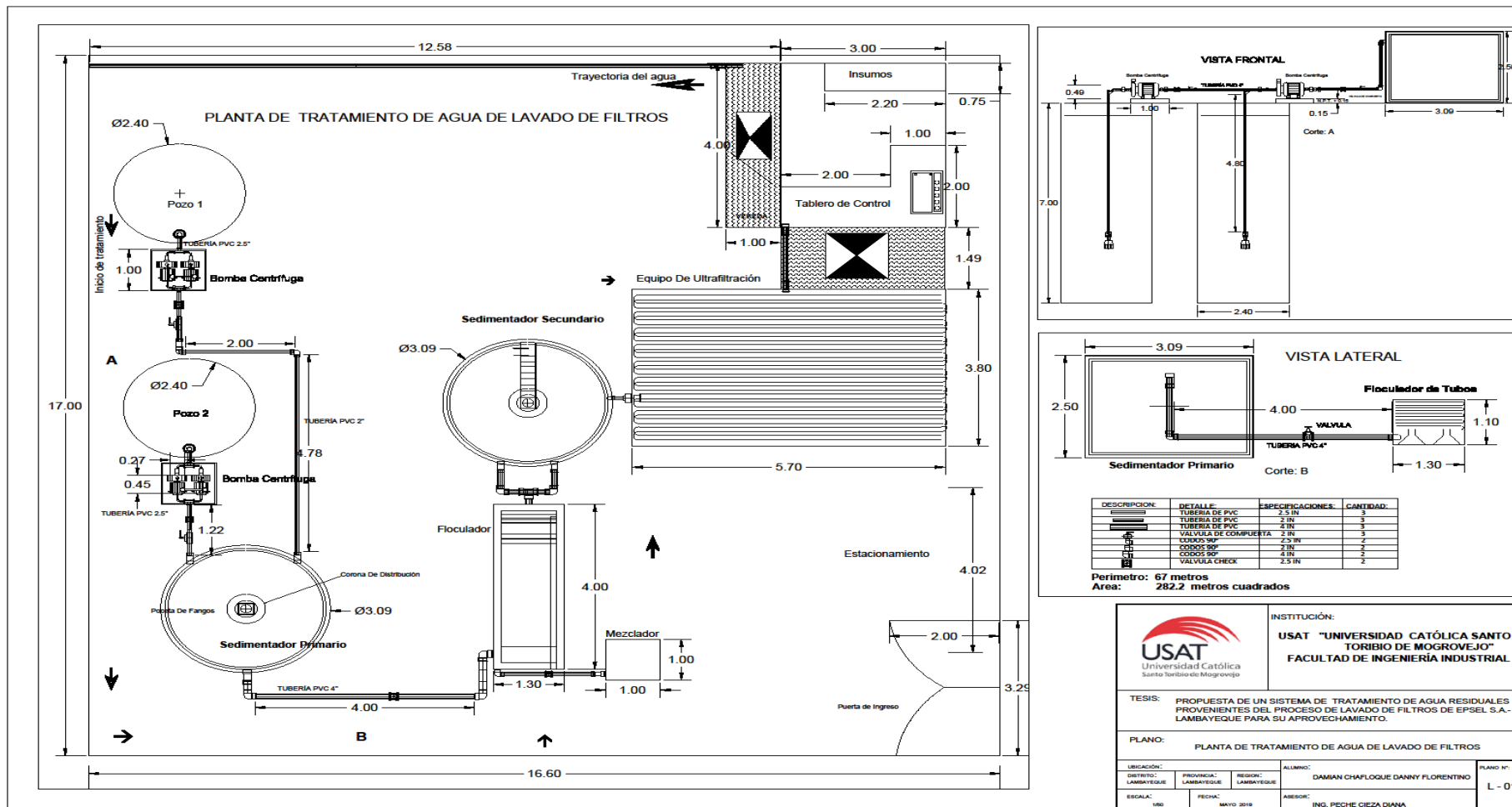
$$\text{Eficiencia} = \mathbf{96,5\%}$$

El caudal de ingreso al sistema de tratamiento es de 17,5 m³/h, mientras que el caudal de salida es de 17,07 m³, por lo tanto, la eficiencia de tratamiento es equivalente a: **96,5%** de eficiencia

3.3.7 Plano de ubicación de planta de tratamiento de agua de lavado de filtros



3.3.8 Plano de planta de tratamiento



3.3.9 Sistema de tratamiento

3.3.9.1 Diseño de caudal

El caudal de diseño es el caudal diario que se obtiene de agua residual enviado a 2 buzones. Son aproximadamente 420 m³/día de agua de lavado de filtros.

Tabla N° 42. Caudal mínimo y máximo para sistema de tratamiento

Año	Producción anual	Producción mensual	Producción hora m ³ /d	Producción m ³ /h
2019 - 2020	157 421	13 118,42	437	18,22
2020 - 2021	157 469	13 122,42	437	18,23
2021 - 2022	157 566	13 130,50	438	18,24
2022 - 2023	157 659	13 138,25	438	18,25

Caudal mínimo= 18,22 m³/h

Caudal máximo=18,25 m³/h

Según el pronóstico del efluente para los próximos 4 años, el caudal promedio día subiría a 437 m³/d, siendo el caudal máximo 18,25 m³/h.

Debido a posibles elevaciones de caudal inesperado, el sistema de tratamiento se diseñó con caudal de 450 m³/d equivalente a **18,75 m³/h**. tomando como referencia un factor seguridad 5% como indica el RNE - MVCS [45].

3.3.9.2 Diseño de tuberías

El agua de lavado de filtros está en reposo en 2 buzones de almacenamiento. Ésta será succionada mediante bombas centrífugas y dirigida al sedimentador primario para su tratamiento. El caudal será dividido en 2 para que las bombas succionen de cada buzón la misma cantidad de agua.

Tubería de succión

A continuación, hallamos el diámetro de la tubería de succión:

$$Q_{\text{caudal}} = (v) \times (A)$$

Donde:

V= velocidad m/s

A= área

$$Q_{\text{diseño}} = 450 \text{ m}^3/\text{d} = 18,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{caudal}} = \frac{18,75 \text{ m}^3/\text{h}}{2}$$

$$Q_{\text{caudal}} = 9,37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Velocidad recomendada = 0,5 – 1 m/s

$$\text{Área} = \pi d^2/4$$

d= diámetro de tubería

reemplazando:

$$9,37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{\pi d^2}{4}$$

$$9,37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = \frac{3600 \text{ m}}{\text{h}} \times \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\sqrt{\frac{0,0033 \text{ m}^2}{\pi}} = d$$

$$d = 0,0575 \text{ m} = 57,5 \text{ mm}$$

Diámetro Interno = 57,5 mm

Diámetro exterior = Diámetro interior + 2ESPESOR...ecuación..... (6)

En la siguiente tabla N° 43 se presenta la norma técnica peruana NTP – características técnicas de tuberías de PVC - para agua a presión [46].

Tabla N° 43. Norma técnica peruana características de tuberías PVC

Longitud		Longitud		Clase 5 Bar		Clase 7,5 Bar		Clase 10 Bar	
Nominal	Real	total	útil	E ⁸ .	peso	E.	peso	E.	Peso
in	mm	m	mm	mm	kg/t	mm	kg/t	mm	Kg x t
1	33	5	4,96	---	---	---	---	1,8	1,36
1 1/4"	42	5	4,96	---	---	1,8	1,75	2	1,94
1 1/2"	48	5	4,96	---	---	1,8	2,02	2,3	2,55
2"	60	5	4,95	1,8	2,54	2,2	3,08	2,9	4,02
2 1/2"	73	5	4,94	1,8	3,11	2,6	4,44	3,5	5,90
3	88.5	5	4,93	2,2	4,60	3,2	6,62	4,2	8,59

Fuente: Pavco Perú [46]

⁸ E: Espesor

En la tabla anterior, se observa las diferentes características de tuberías comerciales para utilizar una medida de acuerdo con el diámetro calculado para la tubería de succión. La presión es de 10 bar.

Remplazamos: *en ecuación N° 06* y usando la medida estándar de diámetro externo según la tabla N°43.

$$\text{Diámetro exterior} = \text{Diámetro interior} + 2 \text{ ESPESOR}$$

$$\text{Diámetro exterior} = 57,5 \text{ mm} + 2 (2,9)$$

$$\text{Diámetro exterior} = 62,8$$

De acuerdo con el tamaño de tuberías estándar observadas en la tabla N° 43, se seleccionó la tubería con diámetro más próximo al de nuestro diseño, siendo de 2,5 pulgadas la medida de la tubería seleccionada.

Tubería de impulsión

$$Q_{\text{caudal}} = (v) \times (A)$$

Donde:

V= velocidad m/s

A= área

$$Q \text{ diseño} = 450 \text{ m}^3/\text{d} = 18,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{caudal}} = \frac{18,75 \text{ m}^3}{24 \text{ h}}$$

$$Q_{\text{caudal}} = 9,37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Velocidad = 0,6 – 5 m/s

Intervalo de velocidad según Norma OS.010 “captación y conducción de agua para consumo humano”

$$\text{Área} = \pi d^2/4$$

d= diámetro de tubería

Remplazando:

$$9,37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = \frac{1,3 \text{ m}}{\text{s}} \times \frac{\pi d^2}{4}$$

$$9,37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = \frac{4680 \text{ m}}{\text{h}} \times \frac{\pi d^2}{4}$$

$$9,37 \text{ m}^2 = 1170 \times \pi d^2$$

$$\sqrt{\frac{9,37 \text{ m}^2}{1170 \times \pi}} = d$$

$$d = 0,0504 \text{ m} = 50,4 \text{ mm}$$

Diámetro interno = 50,4 mm

Remplazamos nuevamente en *ecuación 6* y usando la medida de tuberías estándar de diámetro externo según la tabla N° 42.

Diámetro exterior = Diámetro interior + 2 ESPESOR

$$\text{Diámetro exterior} = 50,4 \text{ mm} + 2 \text{ (2.9)}$$

$$\text{Diámetro exterior} = 56,2 \text{ mm}$$

Se seleccionó la tubería de 2 pulgadas de medida, equivalente a 60 mm ya que es la medida más cercana a la tubería de conducción propuesta. La tabla N°42 también se puede observar en el Anexo N°12.

3.3.9.3 Bomba centrífuga

Según la Norma OS.040 [47] señala los requisitos mínimos que deben cumplir Los sistemas hidráulicos y electromecánicos de bombeo de agua para consumo humano.

Cálculo de potencia real de la bomba

$$P = \frac{H_{\text{bomba}} \times \rho \times \varphi_{\text{caudal}} \times g}{\eta}$$

Donde

H_{bomba} = Altura de la bomba

ρ= densidad

Q= caudal – se dividirá en 4 ya que actuaran 2 bombas en cada buzón.

g= gravedad

η= eficiencia de la bomba

Altura de la bomba:

$$H_{\text{bomba}} = H_{\text{geodésica}} + H_{\text{pérdida de carga en tubería}} \quad H_{\text{pérdida de carga}} = 3-5\% H_{\text{geodésica.}}$$

$$H_{\text{bomba}} = 17,8 \text{ m} + 3,2 \text{ m (5\%)}$$

$$H_{\text{bomba}} = 17,8 \text{ m} + 0,89 \text{ m}$$

$$H_{\text{bomba}} = 18,69 \text{ m}$$

$$\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = (18,75 \text{ m}^3/\text{h})/4 = 4,68 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$\eta = 70\%$ - asumida por ser bomba nueva

Remplazando:

$$P = \frac{18,69 \text{ m} \times 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,68 \frac{\text{m}}{\text{h}} \times 9,37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,7}$$

$$P = \frac{18,69 \text{ m} \times 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,68 \frac{\text{m}}{\text{h}} \times 9,37 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,7}$$

$$P = 396,85 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

$$P = 396,85 \text{ W}$$

$$P = 0,40 \text{ kW}$$

La potencia de bombeo que se requiere en cada bomba para el funcionamiento del sistema es de 0,40 kW. Se usarán 2 bombas centrífugas para succionar el agua de lavado de filtro almacenada de cada buzón (total 4 bombas centrífugas). También se usará una bomba con mínima potencia para la eliminación de los desechos generados en la planta propuesta.

A continuación, se presenta la ficha técnica de la bomba a utilizar y un cuadro de motores estándar para la selección de la bomba.

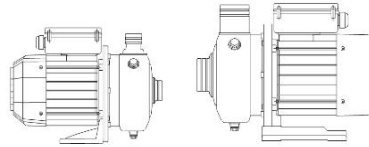


SERIE ALY

ALY05, ALY15, ALY20, ALY30 Y ALY40

ESPECIFICACIONES

Bomba centrífuga horizontal con cuerpo hidráulico en acero inoxidable 304, ideal para aplicaciones donde se requiere que el líquido no tenga contacto con materiales sujetos a oxidación.



APLICACIONES

- Para bombeo de líquidos ligeramente espesos y/o con presencia de partículas
- Aplicaciones con líquidos cuyo grado de pH tenga un rango de 5 a 9
- Sistemas de agua potable
- Riego agrícola
- Aplicaciones industriales
- Sistemas de aire acondicionado
- Sistemas de calefacción

CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN

CONSTRUCCIÓN

- Impulsor completamente abierto en acero inoxidable 304
- Eje en acero inoxidable 316
- Cuerpo en acero inoxidable 304
- Pintura de alta calidad
- Sello mecánico en Carbón/Cerámica (VITÓN)

MOTOR

- Asíncrono, dos polos
- Cerrado (protección IP55)
- Aislamiento clase F
- Protección térmica incorporada en equipos monofásicos
- Servicio continuo
- Enfriado por aire

CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

- Máxima temperatura del líquido: 90 °C (ALY05 60°C)
- Máxima presión de trabajo: 145 psi
- Máxima temperatura ambiente: 50°C
- Paso de sólidos 19 mm (ALY05 8mm)

CÓDIGO DE LA BOMBA



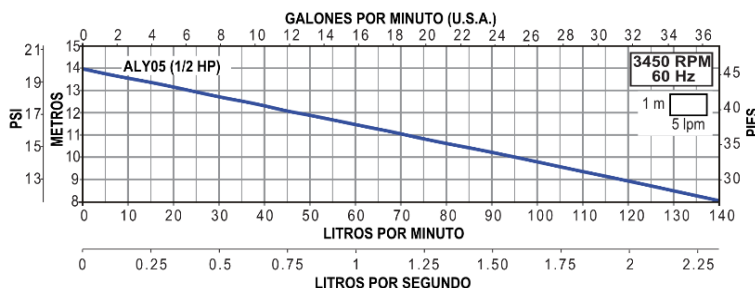
Figura N° 13. Ficha técnica del equipo bomba

Fuente: hidromaquinarias S. A. C.

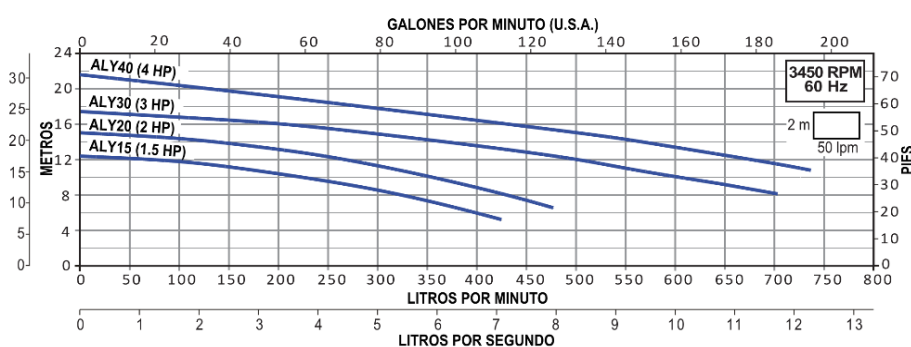
La siguiente figura presenta una tabla de motores estándar donde se determina los HP de la bomba en base al caudal y kW. Esta información también corrobora los cálculos de las tuberías y de las bombas electas.

CURVAS DE RENDIMIENTO

ALY05



ALY15, ALY 20, ALY 30, ALY 40



CÓDIGO	HP	KW	FASES X VOLTS	AMP.	SUCCIÓN x DESCARGA (pulgadas)	DMS*	PRESIÓN AL CIERRE (m/psi)	CARGA EN METROS (psi)								PESO (kg)	
								6 (8.5)	8 (11.3)	10 (14.2)	12 (17)	14 (19.8)	16 (22.7)	18 (25.5)	20 (28.4)		
								GASTO (lpm)									
ALY05/1230	1/2	0.37	1 x 230	2.4	1.25" x 1"	1.5"	14 / 19.8	140	95	47						7.5	
ALY15/1230	1.5	1.1		6.8	2" x 2"	2.5"	12.4 / 17.6	400	320	225	80					17.5	
ALY20/1230	2	1.5		9.6	2.5" x 2"	3"	15 / 21.3		430	358	266	140					21.8
ALY30/1230	3	2.2		14			17.5 / 24.8		700	610	500	370	200				
ALY40/3230	4	3	3 x 230	11.3			21.6 / 30.6				680	570	430	280	130	26.5	

DMS: Diámetro mínimo recomendado para tubería de succión

Figura N° 14. Rendimiento de bomba centrífuga

Fuente: hidromaquinarias S. A. C

La bomba modelo AY15/1230 es la bomba electa donde se observa los parámetros estándar según la tabla dentro de la figura anterior.

HP= 1,5

KW= 0,4

Succión x descarga = 2 pulgadas x 2 pulgadas.

Diámetro de ingreso = 2,5

Curvas de operación. -Según la curva de operación, las bombas con 1,5 HP, es la más cercana al caudal tratable en un intervalo de 1 a más de 400 l/m, y con una presión de 10 A 12 PSI.

Presión al cierre = 12,4 / 17,6

Gastos = 225 l/m

Las bombas electas son de 1,5 HP (caballos de fuerza) cada una para el funcionamiento del sistema. Las dimensiones de la bomba se presentan a continuación en la siguiente figura N° 15.

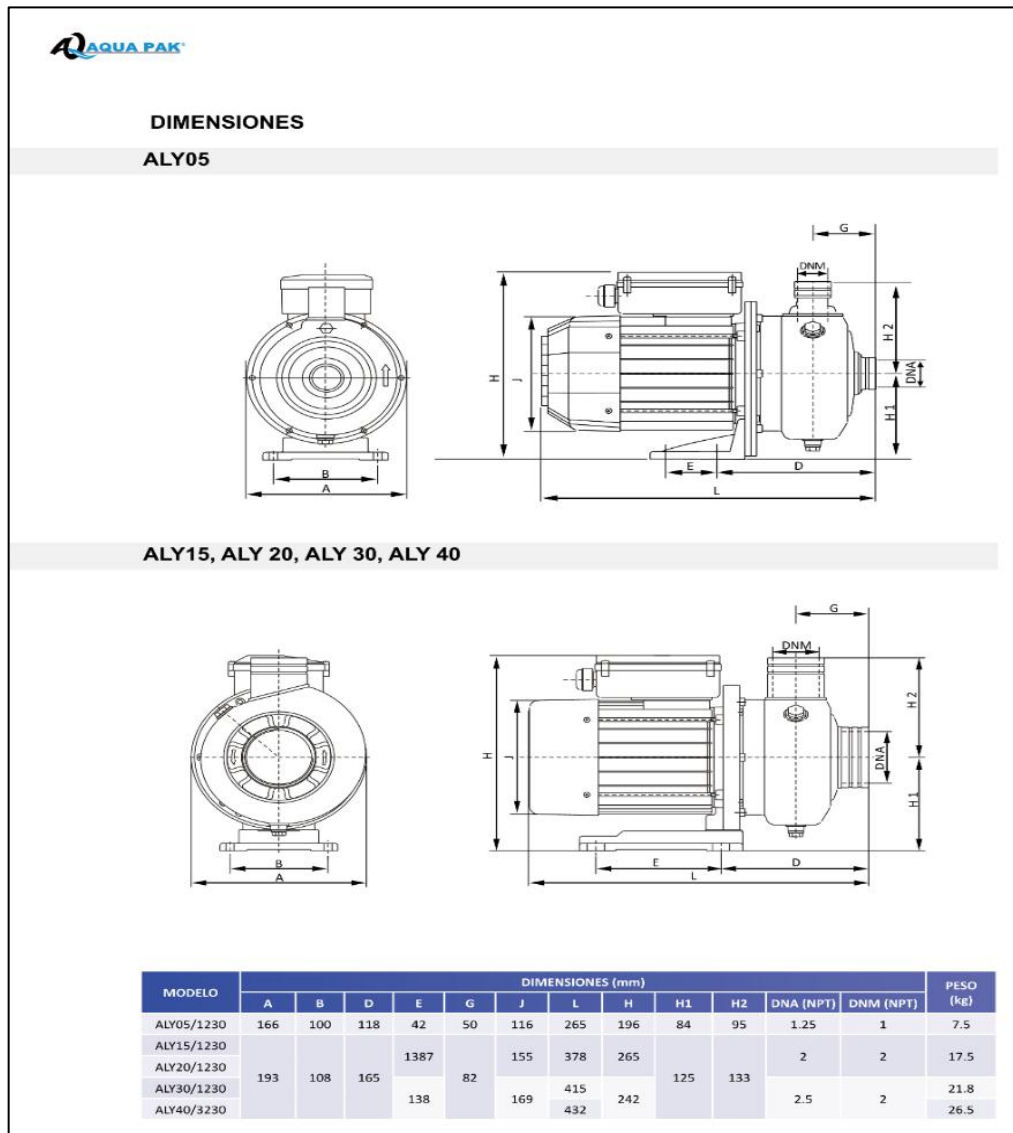


Figura N° 15. Dimensiones de bomba centrífuga

Fuente: Hidromaquinarias S. A. C.

3.3.9.4 Sedimentador

Según la Norma OS.020 [48], establece las condiciones generales que deben cumplir los sedimentadores. (las especificaciones de los sedimentadores de aguas residuales son muy similares. Por ello se utilizó esta norma)

Característica:

- Tiempo de retención: 1 - 2 horas
- Profundidad del tanque: 1,5 - 3 m
- Longitud del tanque: 2 - 5 veces su ancho.
- tasas superficiales: 15 y 60 m³/ (m²d).
- Tanque de almacenamiento de lodos equivale al 10 al 20% del volumen del tanque de sedimentación.

Diseño del tanque de sedimentación:

Volumen del tanque

Caudal: 450 m³

Tiempo de retención: 1 hora, según Norma OS.020

Volumen = Caudal Diario x Tiempo de Retención

$$V = 450 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 1\text{h} \times \frac{\text{día}}{24 \text{ h}}$$
$$V = 18,75 \text{ m}^3$$

El volumen del sedimentador primario es de 18,75 m³, resultado que se obtiene de multiplicar el caudal diario por el tiempo de retención del efluente en la unidad.

Área superficial

$$\text{Área superficial} = \frac{\text{caudal}}{\text{tasa de desborde}}$$

$$\text{Área superficial} = \frac{450 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{60 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ día}}}$$

$$\text{Área superficial} = 7,5 \text{ m}^2$$

Diámetro del sedimentador

$$Diámetro = \sqrt{\frac{4 \text{ Area}}{\pi}}$$

$$Diámetro = \sqrt{\frac{4 \times 7,5 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\mathbf{Diámetro = 3,09 \text{ m}}$$

Altura del sedimentador primario

$$VOLUMEN = \pi \times r^2 \times H$$

$$18,75 \text{ m}^3 = \pi \times (1,69 \text{ m})^2 \times H$$

$$\mathbf{H = 2,5 \text{ m}}$$

La altura del sedimentador se determina de dividir el volumen del tanque entre el área del sedimentador, así hallamos la altura del tanque de sedimentación. El resultado fue de 2,5 m de altura.

Por lo tanto, las dimensiones del sedimentador serían:

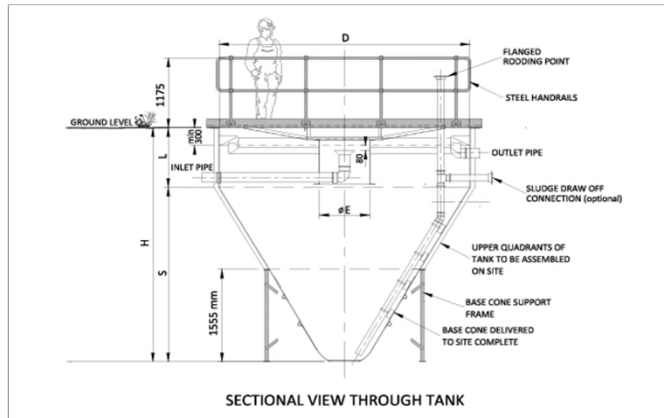
Tabla N° 44. Dimensiones de presedimentador

Dimensiones	Medida (metros)
Área Superficial	7,5 m ²
Volumen	18,75 m ³
Diámetro	3,09 m
Altura	2,5 m

Elaboración propia

A continuación, en la siguiente figura, se presenta la ficha técnica del equipo sedimentador:

Indicative Technical Drawing



Tank volumes can be increased by extending the side wall height

Specification Information

Inside Diameter "D" (m)	Depth "H" (m)	Standard* sidewall height "L" (m) <small>* can be varied</small>	Surface Area (m ²)	Capacity (m ³)	Weight Empty (Kg)
2.4	3.0	1.45	4.5	8.5	400
3.0	3.3	1.2	7.0	11.5	500
4.0	4.0	1.0	12.6	21.5	1000
5.0	4.6	0.8	19.6	35.4	1500
6.0	5.5	0.8	28.3	59.15	3000



Figura N° 16. Ficha técnica del sedimentador primario.

Fuente: Hidromaquinarias S. A. C.

En la figura anterior N° 16, se detalla la ficha técnica del sedimentador primario proporcionada por la empresa Hidromaquinarias S. A. C.

3.3.9.5 Floculador

Según la Norma OS.020 [48] En sistemas de menos de 50 l/s de capacidad, se puede considerar:

- Tiempo de retención promedio: 20 minutos
- Ancho 1/3 de su largo.

Características del tanque floculador

Volumen del tanque

$$V = T_R \times Q$$

Donde

V= volumen del tanque

T_R= Tiempo de residencia en el tanque de floculación

Q= Caudal de agua residual a tratar

$$V = 20 \text{ min} \times 450 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$V = 20 \text{ min} \times 0,31 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$V = 20 \text{ min} \times 0,31 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$V = 6,25 \text{ m}^3$$

Largo del floculador

Asumiendo 1,3 m de ancho según ficha técnica

$$3 \text{ Ancho} = \text{Largo}$$

$$3 (1,3 \text{ m}) = \text{Largo}$$

$$4,02 \text{ m} = \text{Largo}$$

Altura del sedimentador

$$\text{Volumen} = \text{Area} \times H$$

$$6,25 \text{ m}^3 = 1,3\text{m} \times 4,02\text{m} \times H$$

$$\frac{6,25 \text{ m}^3}{5,25 \text{ m}^2} = H$$

$$H = 1,1 \text{ m}$$

A continuación en la siguiente tabla N° 45, se presenta el resumen de las dimensiones del tanque floculador.

Tabla N° 45. Especificaciones de floculador

Especificaciones	Unidad	Medidas metros
Ancho de floculador	m	1,3
Altura	m	1,2
Volumen	m ³	6,25
Largo	m ²	4,02

Elaboración propia

En la siguiente figura N° 17 a continuación se presenta la ficha técnica del floculador.

F SERIES FLOCCULATORS

floculate (ˈflɒk-jə-ˌleɪt) // *verb* // L.A. 18c. *flocus*, 1. to cause to aggregate into a mass 2. to form small clumps or masses

PIPE SWEEPS
SHEAR FORCE ELIMINATORS

AIR INJECTORS
DISSOLVED AIR ENTRAINERS

MIXING ZONES
PRECISION CHEMICAL DISPERSION

FRC's F-Series Flocculators efficiently coagulate and flocculate suspended solids using no moving parts or external energy inputs, like mechanical mixers.

The engineered approach to flocculator design employs long-radius **Pipe Sweeps** to eliminate shear forces. This results in highly uniform floc formation at low chemical dosing rates. **Air Injectors** allow bubbles to become entrained within flocculated solids, which increases separation efficiency, while the **Mixing Zones** provide precision chemical dispersion.

FRC Flocculators come standard with fittings for chemical dosing, sampling, and whitewater injection. Model capacities are available up to 4,000 GPM. Materials of construction available in HDPE, PVC, SS304, and SS316.

Figura N° 17. Descripción de floculador de tubos

Fuente: hidromaquinarias S. A. C.

SYSTEM DETAILS

1. Influent Flange
2. Coagulant Injection Port
3. Zone 1 Mixer
4. Long Radius Bends
5. Polymer Injection Port
6. Zone 2 Mixer
7. Sample Port
8. Air Injection Ports (on back of pipe)
9. Effluent Flange

FLOCCULATOR MODEL SPECIFICATIONS

Model	Flow (gpm)	Materials	Dry Weight (lbs)	Wet Weight (lbs)	Dimensions (LxWxH)
F-1	7-11	PVC / SS	140	160	8'3" x 2' x 3'6"
F-1.25	12-17	PVC / SS	142	185	8'3" x 2' x 3'9"
F-1.5	20-28	PVC / SS	145	472	9'2" x 2' x 4'3"
F-2	29-41	PVC / SS	285	503	9'2" x 2' x 4'7"
F-2.5	40-65	PVC / SS	291	560	9'2" x 2' x 4'9"
F-3	69-99	PVC / SS	440	889	14'11" x 2'4" x 4'4"
F-4	119-173	PVC / SS	620	1,218	14'7" x 3'1" x 6'5"
F-5	209-285	HDPE / SS	830	2,537	15'10" x 3' x 6'8"
F-6	280-380	HDPE / SS	930	3,100	15'10" x 3' x 6'10"
F-8	419-697	HDPE / SS	1,410	4,975	16'2" x 3'8" x 5'11"
F-10	650-1,045	HDPE / SS	1,830	6,362	16'2" x 3'8" x 6'10"
F-12	921-1,520	HDPE / SS	3,150	9,225	16'3" x 3'10" x 8'
F-14	1,300-2,000	HDPE / SS	4,200	11,900	16'11" x 3'10" x 9'3"

* Consult FRC as values may vary based on process circumstances
** Model capacities for greater flow rates available as needed

FRC Systems International, LLC | PO Box 3147 Cumming, GA 30028
(770) 534-3681 | www.frcsystems.com | info@frcsystems.com

FRC
SYSTEMS INTERNATIONAL
Trusted Wastewater Solutions™

Figura N° 18. Descripción de floculador

Fuente: hidromaquinarias S. A. C.

Según la ficha técnica del producto la capacidad del floculador que se requiere para el sistema es de 69 - 99 gpm equivalente a 14 - 22 m³/h ya que el caudal del sistema se encuentra dentro de este parámetro. las dimensiones del equipo floculador son 14'11'L x 2'4'A x 4'4'H expresado en pies (ft) equivalentes a 4,3 L x 0,7 A x 1,34 H (metros).

3.3.9.6 Clarificador (sedimentador secundario)

Este tipo de unidades solo se considerará para para aguas con turbiedad alta (100 – 500 UNT).

Características

-Se adoptarán tasas superficiales entre 60 y 120 m³/ (m². d), las que corresponden a velocidades entre 4 y 8 cm/min.

-El período de retención deberá ser de 1 a 2 horas.

-La forma de estas unidades es cuadrada, rectangular o circular.

-La pérdida de agua por fangos no debe ser superior de 2% del agua tratada.

Dimensiones del clarificador

Volumen del clarificador

Volumen = Caudal Diario x Tiempo de Retención

$$V = 450 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \times 1,3\text{h} \times \frac{1 \text{ dia}}{24\text{h}}$$

$$V = 24,3 \text{ m}^3$$

Área superficial

$$\text{Área superficial} = \frac{\text{caudal}}{\text{tasa de desborde}}$$

$$\text{Área superficial} = \frac{450 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}}{60 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ dia}}}$$

$$\text{Área superficial} = 7,5 \text{ m}^2$$

Diámetro del clarificador

$$\text{Área} = \pi \times \frac{d^2}{4}$$

$$\text{Diámetro} = \sqrt{\frac{4 \text{ Area}}{\pi}}$$

$$\text{Diámetro} = \sqrt{\frac{4 \times 7,5 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$\text{Diámetro} = 3,09 \text{ m}$$

Altura del sedimentador

$$\text{Volumen} = \pi \times r^2 \times H$$

$$24,3 \text{ m}^3 = \pi \times (1,43 \text{ m})^2 \times H$$

$$\mathbf{H = 3,20 \text{ m}}$$

La altura del sedimentador se determina de dividir el volumen del tanque entre el área del sedimentador, así hallamos la altura del tanque de sedimentación. El resultado fue de 3,2 m de altura.

A continuación, se presenta la tabla N° 46, donde se observa las medidas del clarificador.

Tabla N° 46. Dimensiones de clarificador

Dimensiones	Medida (metros)
Área Superficial	7,5 m ²
Volumen	24,3 m ³
Diámetro	3,09 m
Altura	3,20 m

Elaboración propia

En la siguiente figura se presenta la ficha técnica del equipo clarificador para pequeños caudales.



Minicell™

Dissolved air flotation (DAF) clarifier for small flow applications



The Minicell is the simplest and the smallest DAF clarifier in the KWI product line. It is designed for small flows.

Main advantages :

- Very competitive price.
- Simple operation.
- Excellent performance with "difficult" and "fragile" sludge quality - the sludge blanket does not move and the risk of having "sinking flocs" is negligible (the sludge is not pushed to the sludge extraction device as the spiral scoop is travelling around the sludge blanket) .
- 3 different tank heights available (choice according to the application).

Main applications :

- Excess biological sludge clarification and thickening before further de-watering (for small installations) (excellent application in case of biological phosphorous removal. This reduce also the polymer consumption in the sludge de-watering system).
- Industrial effluents from the food industry in combination with chemical treatment.
- Industrial low flow effluents.

The tank and the construction of the **MINICELL** can be adapted to the application and to the effluent.
The depth of the tank varies according to the type of the effluent, the inlet solid concentration and the requirements of the application (clarification with or without chemicals, sludge thickening,...)

MINICELL is available in 10 sizes from 16 to 450 m³/h.

Figura N° 19. Ficha técnica de clarificador de flujo pequeño.

Fuente: hidromaquinarias S. A. C.

MNC 12 - Cheese making effluent

MNC 10 - Tannery effluent

Type	Max. flow (m ³ /h) *	Motor scoop (kW)	Motor carriage (kW)	ø A (mm)	B (mm)	Weight tons (full of water)
MNC 6	16	0,25	-	1850	1000/1500	3/4, 3
MNC 8	34	0,25	-	2400	1000/1500	5/7, 2
MNC 10	60	0,37	-	3200	1000/1500/2000	8/11,5/15
MNC 12	90	0,55	-	3900	1000/1500/2000	12/18/24
MNC 15	115	0,55	-	4500	1000/1500/2000	15/23/31
MNC 18	180	0,75	0,75	5500	1500/2000	34/46
MNC 20	220	0,75	0,75	6100	1500/2000	42/57
MNC 22	250	1,5	1,5	6700	1500/2000	51/68
MNC 24	300	1,5	1,5	7200	1500/2000	60/85
MNC 30	450	2,2	2,2	9000	1500/2000	108/140

* The maximum flow includes recycle flow and is dependent on suspended solids loading and the application!

Copyright KWI International Environmental Treatment GmbH. All Rights Reserved. No part of this material and/or brochure/catalogue may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photo-copying, recording or otherwise, without the prior permission of KWI International Environmental Treatment GmbH. All trademark, marks, indicia, logo, trade name, brand name contain in this brochure/catalogue belong to KWI International Environmental Treatment GmbH.

KWI - Headquarters
 KWI International Environmental Treatment GmbH
 Auengasse 8 - A-9170 Ferlach - Austria
 Tel. : +43 4227 3266 - Fax : +43 4227 3449
 E-mail : office-at@kwi-intl.com

(KWI)
 www.kwi-intl.com

ISO 9001 / 14001 CERTIFIED

Copyright © KWI International Environmental Treatment GmbH.
 All Rights Reserved.
 No part of this material and/or brochure/catalogue may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of KWI International Environmental Treatment GmbH.
 All trademark, marks, indicia, logo, trade name brand name contain in this brochure/catalogue belong to KWI International Environmental Treatment GmbH.

Figura N° 20. Descripción del clarificador

Fuente: hidromaquinarias S. A. C.

Según la ficha técnica del producto la capacidad del clarificador que se requiere para el sistema se encuentra en 34 m³/h y cuyas medias son de un diámetro de 2 400 mm equivalente a 2,4 m de diámetro y 1 000 a 1 500 mm equivalente a 1 - 1,5 m de altura. Además, un peso de 0,7 - 2 toneladas lleno de agua.

3.3.9.7 Equipo de ultrafiltración

La instalación de tratamiento debe tener un caudal de $450 \text{ m}^3/\text{d} = 18\,750 \text{ l/h}$. Suponiendo un rendimiento del proceso de ultrafiltración del 60% y sabiendo el caudal de entrada calculado mediante la siguiente ecuación se puede hallar el caudal de permeado de la instalación industrial a dimensionar.

$$Q \text{ permeado instalación} = 0,6 \times 18\,750 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$Q \text{ permeado instalación} = 11\,250 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

La cotización realizada a la empresa Hidromaquinarias Import S. A. C., nos indica la capacidad de flujo de equipo ultrafiltración $4 - 12,3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$

$$\text{Área total} = \frac{Q \text{ permeado instalación}}{\text{Capacidad Flujo}}$$

$$\text{Area total} = \frac{11\,250 \frac{\text{l}}{\text{h}}}{12\,300 \frac{\text{l}}{\text{m}^2\text{d}}}$$

$$\text{Area total} = \frac{11\,250 \frac{\text{l}}{\text{h}}}{512,5 \frac{\text{l}}{\text{m}^2\text{h}}}$$

$$\text{Área total} = 21,9 \text{ m}^2$$

Conociendo el área total de la instalación, se puede obtener el número de membranas que serán necesarias.

Según cristina Poblet [49], el área de una membrana de instalación industrial es $0,35\text{m}^2$

$$\text{N}^\circ \text{ Membranas UF} = \frac{\text{área total de instalación}}{\text{área de membrana de instalación}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ Membranas UF} = \frac{21,9 \text{ m}^2}{0,35\text{m}^2}$$

$$\text{N}^\circ \text{ Membranas UF} = 62,7 = 63$$

A continuación, en la tabla N° 47, se presentan las características del equipo de Ultrafiltración.

Tabla N° 47. Parámetros de equipo de ultrafiltración

Parámetro	Característica
Q Permeado de la instalación	18 750 l/h
Área de membrana UF	0,35 m ²
Área del equipo	21,9 m ²
Altura Membrana estándar	1,92 m
Altura del equipo	2,5 m
Largo	5,7 m
Ancho	3,8 m

Elaboracion propia

La siguiente figura N° 21 presenta la ficha técnica del equipo de ultrafiltración.



Figura N° 21. Equipo de ultrafiltración UF

Fuente: hidromaquinarias S. A. C.

El agua tratada será enviada al tanque de almacenamiento de la planta N° 02 a través de tuberías y se juntara con el agua potable para su envío a l reservorio.

3.3.10 Distribución de planta

El método para trabajar la distribución de planta fue GUERCHET, con base en las superficies halladas de los equipos que conforman el sistema de tratamiento propuesto. De este modo se determinó las áreas que ocuparan los equipos.

A continuación, en la tabla N° 48, se presenta los diferentes tipos de superficies y sus fórmulas para hallar el área de los equipos que conforman el sistema de tratamiento.

Tabla N° 48. Ecuación de superficies para cálculo de áreas

Superficie	Símbolo	Fórmula
Superficie Estática	SS	$SS = A \times L$ o $SS = \Pi \times r^2$
Superficie De Gravitación	SG	$SG = SS \times N$
Superficie de evolución	SE	$SE = K \times (SS + SG)$
Superficie total	ST	$ST = SS + SG + SE$

Elaboración propia

A= Ancho

L= Largo

N= Número de lados

K=Constante

En base a la tabla anterior se procedió a asignar el área correspondiente que ocuparían cada uno de los equipos que conforman el sistema de tratamiento de agua.

A continuación, se presenta la tabla N°49, en la cual se observa la distribución de áreas de acuerdo con el método Guerchet.

Tabla N° 49. Método Guerchet - Distribución de planta de tratamiento

Tipo de elemento	Equipo de tratamiento	Cantidad	Dimensiones			N° Lados	K	SS	SG	SE	Total
			Largo	Ancho	Altura						
ESTÁTICOS	Bombas	4	0,45	0,27	0,49	3	0,2	0,12	0,49	0,12	2,92
	Tanque sedimentador primario.	1	3,09	3,09	2,5	2	0,2	7,5	22,50	6,00	26,00
	Caseta de monitoreo	1	4,0	3,0	1,5	3	0,2	7,07	21,21	5,65	33,93
	Tanque floculador	1	4,3	1,3	1,1	3	0,2	5,23	15,68	4,18	25,08
	Tanque de sedimentación	1	3,09	3,09	3,2	2	0,2	7,50	15	4,50	27,00
	Equipo ultrafiltración	1	5,7	3,8	2,5	3	0,2	21,6	66,64	21,66	129,96
	Estacionamiento	1	4,2	5,7	2,5	1	0,2	23,94	---	---	23,94
	Bomba de lodos	2	0,45	0,27	0,49	4	0,2	0,12	0,49	0,12	1,46
MÓVILES	Operarios	3	---	---	0,75	---	---	0,75	---	---	2,25
Área total											282,6 m²

Elaboración propia

La constante “k” se consideró:

$$k = \frac{\text{Promedio elementos móviles}}{2 \times \text{promedio elementos estáticos}}$$

$$k = \frac{0,75}{2 \times 1,815}$$

$$k = 0,2$$

De acuerdo con el método Guerchet, usado en la distribución de áreas del sistema de tratamiento nos indica que el área total necesaria para la instalación de la planta de tratamiento de agua de lavado de filtros es de 282,6 m² como lo indica la tabla N° 49.

3.4 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Ver el desarrollo de un proyecto de propuesta de planta de tratamiento de agua desde el punto ambiental, demuestra que no solo hay interés en reducir costos y aumentar la productividad de la empresa, sino que junto con ello se contribuye a reducir descargas de efluentes y generar contaminación, además de reaprovechar los recursos tan valiosos de la naturaleza como es el agua.

El presente sistema de tratamiento de agua residual del lavado de los filtros propuesto a EPSEL Lambayeque tendrá la capacidad de atender un caudal de 420 m³/d, lo cual permitirá reducir las constantes limpieza que le realizan al dren N° 715 - EUREKE, por el constante arrojado del agua residual del lavado de filtro cargado de lodo, ocasionando también pérdidas económicas por el abundante uso de agua potable en la limpieza que debe tratarse para venderse.

3.4.1 Costo de inversión

Inversión fija

- Costo de máquinas y equipos de planta,
- Costos de terreno –(la empresa cuenta con área disponible de instalación).
- Construcciones civiles
- Personal de trabajo contratado para la planta
- Accesorios de instalación

Inversión intangible

- Gastos de la empresa y puesta en marcha.

Capital de trabajo. -Dinero efectivo con que se cuenta para la inversión.

3.4.1.1 Inversión fija

- Inversión intangible
- Gastos de la empresa
- Puesta en marcha.
- Capital de trabajo
- Dinero efectivo con que se cuenta para la inversión.

Tabla N° 50. Costos de trabajos preinstalación de equipos \$

Descripción de recurso	Unidad	Metrado	Precio Unitario	Total \$
Cartel identificación de obra	---	1,5x1,2	45,18	45,18
Eliminación de maleza	m ²	100	0,24	24,09
Permisos a municipalidad	---	---	361,44	361,44
Total				430,71

Elaboración propia

En la tabla N° 50 se refleja el costo por los trabajos preliminares antes de dar inicio a la instalación de los equipos. El costo de un cartel de señal de aviso es aproximadamente \$. 45,18. Sus medidas son establecidas por la ley 27972- Ejecución de obras de servicios públicos. En la eliminación de maleza, el jornal diario de trabajo es de \$. 12,04. Un obrero avanza un promedio de 50 m² diario. Por último, derecho que se paga al municipio es de \$ 361,44. Por ello el costo total de trabajos de preinstalación de equipos es \$. 430,71.

La tabla a continuación presenta los costos de obras de concreto realizadas antes de dar inicio a la instalación del sistema de tratamiento.

Tabla N° 51. Costo de obras de concreto \$

Descripción	unidad	Metrado	Precio unitario	Total \$
Piso pulido	m ²	100	4,51	451,80
Sobre piso bomba	m ²	1	4,51 x 2	9,02
Drywall caseta	m ²	3 x 4 x 2,6	---	1 315,00
Eternit para techo caseta	m ²	4x3	G=24 y M= 12	144,57
Total				1 920,39

Elaboración propia

En la tabla N° 51, se refleja el costo por los trabajos de piso de concreto pulido antes de dar inicio a la instalación de los equipos. En el mercado el metro cuadrado de piso pulido se cotiza en \$ 4,51. El Eterní cuesta \$. 24,04 la plancha

grande y \$. 12 la pequeña. También el costo de drywall es \$. 36,14 haciendo un costo por la caseta de \$. 144,57. Por último, el costo total de trabajos de concreto se estimó en \$. 1 920,39.

La siguiente tabla N° 52, presenta los costos de los equipos que conforman el sistema de tratamiento de agua de lavado de filtros.

Tabla N° 52. Costo de equipos del tratamiento \$

Equipos	Cant.	Costo Unitario \$	Costo Total \$
Sedimentador primario	1	14 047	14 047
Tablero electrónico y control de mando	1	2 500	2 500
Equipo floculador de tubos	1	6 706	6 706
Sedimentador clarificador	1	23 344	23 344
Equipo de ultrafiltración	1	29 210	29 210
4 bomba 1,5 HP	4	475	1 901
1 bomba 0,2 HP lodos	1	295	295
Total			78 000

Fuente: hidromaquinarias Import S. A. C

La tabla N° 52 presenta los costos de los equipos del sistema de tratamiento de agua de lavado en base a la cotización realizada por la empresa HIDROMAQUINARIAS IMPORT S. A. C. El costo total de equipos que conforman el sistema es **\$. 78 000.**

A continuación, se presenta la tabla N° 53, donde se observa los costos de los accesorios que conforman el sistema.

Tabla N° 53. Costo de accesorios de tratamiento \$

Accesorios	Cant.	Especificaciones	Costo unitario \$	Costo total \$
Tubería de PVC	3	Ø = 2,5 IN	4,5	13,50
Tubería de PVC	2	Ø = 2 IN	3,61	10,83
Tubería de PVC	3	Ø = 4 IN	6,02	18,06
Válvula de Purga	2	Ø = 2 IN	21,08	63,24
CODOS DE 90°	6	Ø = 2,5 IN	1,35	4,05
CODOS DE 90°	11	Ø = 2 IN	0,9	2,70
CODOS DE 90°	8	Ø = 4 IN	1,81	5,43
T	3	Ø = 4 IN	1,81	5,43
Válvula check	2	Ø = 2,5 IN	240	720,00
Válvula esférica	4	Ø = 2 IN	15,06	45,18
Total				888,42

Elaboración propia

La tabla N° 53 registra los costos por tuberías y accesorios. Los costos fueron consultados a la empresa PAVCO S. A. C. El costo total de accesorios fue de 888,42 dólares americanos.

Costos por mantenimiento

Según la superintendencia de servicios de saneamiento SUNASS, las estructuras del sistema de tratamiento deben contemplar la ejecución de programas de limpieza y desinfección como mínimo de 2 veces al año [50].

Según P. Yadira y C. Wilson [51] el mantenimiento de bombas de lodos tiene un costo de 13,91 dólares equivalentes a S/. 47 soles. Por otro lado, aquí también se indica que el mantenimiento de pozos debe realizarse mensualmente y que su costo es 25 soles o \$ 7,57.

Según Tianjiao Guo et al [52], el costo anual de mantenimiento de un equipo floculador esta dado por la siguiente ecuación.

$$\log (y) = 0,347 \times (\log (x))^{1,448} + 2,726$$

Donde

y= costo soles

x= capacidad en metros cúbicos /día

operando:

$$\log (y) = 0,347 \times (\log (450m^3))^{1,448} + 2,726$$

$$\log (y) = 0,347 \times 4,11 + 2,726$$

$$\log (y) = 4,15 \text{ soles}$$

$$\text{mantenimiento anual} = 4,15 \text{ soles} \times 365 \text{ días}$$

$$\text{mantenimiento anual} = S/. 1 515,27$$

Según Tianjiao Guo et al [52], el costo anual de mantenimiento del equipo de ultrafiltración incluye limpieza de membrana, desinfección, desincrustaciones en el poro de membrana. Viene dado por la siguiente ecuación:

$$\log (y) = 1,828 \times (\log (x))^{0,598} + 1,876$$

Donde

y= costo soles

x= capacidad en metros cúbicos/día

operando:

$$\log (y) = 1,828 \times (\log (450m^3))^{0,598} + 1,876$$

$$\log (y) = 1,828 \times 1,79 + 1,876$$

$$\log (y) = 5,15 \text{ soles}$$

$$\log (y) = 5,15 \times 365 \text{ soles}$$

$$\log (y) = S/. 1 881$$

Tabla N° 54. Costo de mantenimiento de planta de tratamiento de agua del lavado de filtros

Equipo	Cant	Actividades	Frecuencia - año	Costo unitario S/.	Costo Anual S/.	Costo Anual \$
Bomba centrífuga 1,5 HP	4	-Verificación de aceite -Impulsor y carcaza -Lubricación -Engrasado	2 x mes	47	2 260	684
			1 x semana			
			1 x mes			
			1 x mes			
Sedimentador Primario	1	Revisión de válvulas. Revisión de compuertas. Protección de elementos metálicos con pintura anticorrosiva. Limpieza de unidad y cámara - remoción de lodo	1x 3 mes	240	1 400	424
			1x3 mes			
			1 x año			
			1 x mes			
Floculador de Tubos	1	-Cambio de aceite del motor. -Cambio de grasa expulsar por presión grasa. -Control de sobrecalentamiento de rodamientos. -Secado de embobinado. -Lubricación de mecanismos de transmisión. -Engrasado en puntos. -Revisión de empaquetadura en prensa. -Desmontaje y revisión de cargas de engranaje. -Lavado de rodamientos, aceite, grasa	1 x semana	253	1 520	460
			1 x día			
			1 x semana			
			1x año			
			1 x mes			
			1 x mes			
			1 x año			
			1 x año			
Sedimentador secundario	1	-Limpieza de sensores de nivel -Inspección de conexiones eléctricas, cañerías, aislación. -Limpieza de unidad	1x semana	250	2 340	709
			1 x semana			
			1 x mes			

Equipo	Cant	Actividades	Frecuencia - año	Costo unitario S/.	Costo Anual S/.	Costo Anual \$
Equipo de Ultrafiltración	1	-Inspección de cañerías por posibles fugas -Limpieza de membranas. -Limpieza y reapriete de tablero electrónico. -Limpieza de sensores -Limpieza a sensores, conductímetros, transmisor de presión. -Cambio de membrana semipermeable. -Limpieza externa e interna de carcasa	1 x mes	157	1882	570
			1 x día			
			1 x 2 meses			
			1 x mes			
			A falla			
			1 x 2 meses			
			1 x 3 meses			
Bomba de Lodos	1	Lubricación de cojinetes, impulsor abierto, mangas de eje, carcasa.	1 x semana	45	540	164
Pozos de Bombeo	2	Limpieza y desinfección	1 x mes	25	600	182
Dosificador	1	Limpieza de mecanismos de dosificación Desmontaje del motor secado, cambio de rodamientos. Secado de embobinado	1x 6 meses	190	380	115
			1 x año			
			1 x año			
Total					13 428	3 308

Elaboración propia

Tabla N° 55. Repuestos de equipos y materiales utilizados en mantenimiento

Repuesto	Cant .	Costo unitario S/.	Costo unitario \$	Total anual \$
Cabezal de dosificador	2	413,7	125	250
Tubo de aspiración y presión	10	33,10	10	100
Rodamientos	3	49,65	15	45
Membrana UF	17	215,15	65	1 105
Sellos mecánicos	1	264,80	80	80
Agua (m ³)	4,09	1,41	0,40	603
Total				2 184
Mantenimiento de equipos				3 308
Total				5 492

Elaboración propia

En el caso del agua usada en la limpieza de filtros, según M. Mahdavi [6], se consideró 1% de la producción total equiválete a 4,1 m³ equivalentes a \$ 1.65 dólares o \$ 603 anuales. En el caso de los sedimentadores primario y secundario y dosificador, las actividades indicadas por el personal operario de EPSEL.

3.4.1.2 Inversión intangible

Los recursos necesarios para el buen funcionamiento de planta, conocidos como bienes intangibles se detalla a continuación en la tabla N° 56.

Tabla N° 56. Inversiones intangibles para el sistema de tratamiento \$

Servicio	Cant.	Costo Unitario \$	Costo total \$
Instalación y puesta en marcha	---	2 500	2 500
Manual de operación y mantenimiento.	---	1 800	1 800
Asesoría técnica	---	1 740	1 740
Transporte Lima - Lambayeque	---	7 200	7 200
Total			13 240

Elaboración propia

La tabla N° 56, detalla el costo total por el servicio de instalación del sistema. El costo de instalación del sistema y el transporte de los equipos de Lima - Chiclayo son los más elevados. En total los costos intangibles para la instalación del sistema son de \$. 13 240.

3.4.1.3 Capital de trabajo

El capital de trabajo es el dinero disponible para poner en funcionamiento el sistema de tratamiento. Los costos fijos y variables se consideran para calcular el capital de trabajo.

A continuación, se presenta la tabla N° 57 donde se detalla los costos fijos, variables y el capital de trabajo.

Tabla N° 57. Capital de trabajo

Descripción	Costo \$
Costo de materiales de construcción	1 054
Computadora, sistema	452
Servicios de energía	151
Comunicación	30
Total	1 687

Elaboración propia

Como se observa, el capital de trabajo total es \$. 1 687 y está conformado por los costos de los materiales, computadora, servicios de energía y comunicación.

la siguiente tabla N° 58, describe la inversión total de la implementación del sistema. Conformada por la inversión total, la inversión intangible, el capital de trabajo y los imprevistos.

Tabla N° 58. Inversión para el tratamiento del agua de lavado de filtros

Inversión total	Costos \$
Inversión tangible	86 731,52
Obras preliminares	430,71
Obras de concreto	1 920,39
Equipos tratamiento	78 000
Accesorios	888,42
Mantenimiento	5 492,00
Inversión intangible	13 240
Capital de trabajo	1 687
Imprevistos	500
Total	102 158,52

Elaboración propia

3.4.1.4 Gastos administrativos

Son costos pasivos o de servicios generales que incurren para mantener operativo el sistema de tratamiento.

Puestos de trabajo

-Supervisor

Encargado de verificar la calidad del agua, planilla, dirección y capacitación de personal, proponer mejoras.

-Operario técnico

Encargado del mantenimiento de equipos. Por ejemplo, supervisión del lavado de las membranas. Calidad del agua.

-Operario de producción

Encargado de poner en funcionamiento la planta, controlar el proceso y verificación de producto de calidad.

Tabla N° 59. Costos de sueldos de trabajadores de planta

Personal	Cant	Sueldo Mes \$	Beneficios			Total anual \$
			CTS	28 de julio	Navidad	
Supervisor	1	225,90	225,90	225,90	225,90	3 388,5
Técnico de mantenimiento	1	361,45	361,45	361,45	361,45	5 421
Operario	3	813,25	813,25	813,25	813,25	12 198
Total						21 007,5

Elaboración propia

La tabla anterior N° 59, presenta los gastos administrativos generados por el funcionamiento de la planta. al jefe de planta se considera un sueldo de S/. 225,9 por 10 días de trabajo. Su función es solo supervisar. En el caso del técnico en mantenimiento se le asigna S/. 361,45 acorde al mercado. Los operarios son 3 que trabajan en jornadas de 8 horas - día para cubrir las 24 horas que estará en funcionamiento del sistema. El sueldo asignado para los operarios es S/. 280,12 y los gastos administrativos son \$. 21 007,5 anuales.

3.4.2 Costo por sanciones

Costo de multa por contaminación a dren

Desde el inicio de sus operaciones en el año 1999, la planta de tratamiento de agua potable EPSEL S. A. Lambayeque viene vertiendo sus efluentes al dren N° 1462 LA –Eureka sin previa autorización.

Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el Reglamento de la ley de recursos hídricos [19], artículo 135° prohíbe efectuar vertimientos sin previa autorización a drenes pluviales. Además de contar con autorización, los efluentes deben ser tratados antes de su vertimiento. La conducta actual de EPSEL representa costos por infracciones.

Para el cálculo de la deuda, se calificó la infracción de los vertimientos emitidos por la planta N° 02 de EPSEL S. A. Lambayeque tomando como referencia la ley de procedimiento administrativo general N° 27444 [20] y los criterios

mencionados en los artículos 278.2 y 278.3 de la ley de recursos hídricos [19] para establecer la severidad del daño acorde al artículo 279° de la misma ley y darle el valor correspondiente a la multa. A continuación, se presenta la tabla N°59 donde se observa las sanciones aplicadas por la autoridad nacional del agua con referencia a los vertimientos sin previa autorización.

Tabla N° 60. Sanciones y multas por vertimiento

Tipo de infracción		Aviso/ multa UIT
Observación		Notificación
Leve	Contaminar las fuentes naturales de agua, superficiales o subterráneas.	0,5-2 UIT
Grave	Efectuar vertimiento de agua residuales en los cuerpos de agua o efectuar reúso de aguas sin autorización de la autoridad nacional del agua.	2 - 5 UIT
Muy Grave	Arrojar residuos sólidos o cuerpos de agua natural o artificial.	5 - 10 000 UIT

Fuente: Ley de recursos hídricos [20]

Teniendo en cuenta el principio de razonabilidad, punto “b” (probabilidad de detección de la infracción) EPSEL S. A. Lambayeque tiene a la vista de todos las tuberías y mangas de efluentes por lo que sería fácil de detectar por el organismo fiscalizador. Además, teniendo en cuenta también el punto d (perjuicio económico al estado), hacer mantenimiento al dren probablemente demandara altos costos.

Tabla N° 61. Criterios para calificar infracciones

Ítem	Infragancia	
	Si	No
a) Beneficio ilícito		
b) Probabilidad de detección		
c) Daño al interés público		
d) Perjuicio económico causado		
e) Reincidencia en la infracción		
f) Intencionalidad de conducta		

La tabla anterior explica los principios de razonabilidad [20] que la empresa incumple. por ejemplo, el punto “a”: La empresa evita costos por tratamiento de aguas de lavado. En el punto “b” La empresa no oculta sus vertimientos, por lo que no es clandestino. En el punto “d”, se causa daño al estado, pues debido al constante vertimiento de las aguas de lavado, el estado efectúa constantes limpiezas en el dren. El punto “e”, la empresa en la actualidad sigue efectuando vertimientos sin tratarlos y a pesar de haber sido notificada por la autoridad nacional del agua (ANA).

A continuación, se presenta la estimación de costo de la infracción por vertimientos de aguas residuales desde su funcionamiento de la planta de tratamiento de agua.

Tabla N° 62. Costos por multas

Infracción	Nivel	Multa N° UIT	Costo UIT	Sub total	Total S/.
Mínimo	grave	3	4 150	12 450	33 200,00
	muy grave	5	4 150	20 750	
Intermedio	grave	4	4 150	16 600	78 850,00
	muy grave	15	4 150	62 250	
Máximo	grave	5	4 150	20 750	145 250,00
	muy grave	30	4 150	124 500	

Fuente: Sunat [53]

Según la tabla N° 62, se estima que la infracción de la empresa sería considerada como grave - muy grave, por el vertimiento de aguas residuales cargadas con lodo a dren pluvial o cuerpos de agua naturales. La sanción oscila entre 3 y 30 UIT. El monto de **78 850,00 soles equivalentes a \$. 23 750.**

Se tomó como referencia el valor actual de UIT (UNIDAD IMPOSITIVA TRIBURARIA) actual que determina Sunat equivalente a 4 150 soles [53].

Probablemente EPSEL S. A. Lambayeque pudiese ser sancionada con el valor de s/. 78 850,00 equivalente a 15 UIT.

3.4.3 Costos del sistema de tratamiento

El agua potable que utiliza la estación de servicio de saneamiento de Lambayeque para la limpieza de los filtros genera costos. El precio en venta por metro cubico de agua potable es S/. 1,41/m³. Para el cálculo de consumo de agua potable se utilizó la proyección de los siguientes 4 años de emisión de agua residual.

La tabla N° 63, muestra el costo que implica la utilización de agua potable en el lavado de los filtros anualmente.

Tabla N° 63. Costo uso de agua potable en la limpieza de filtros de los próximos 4 años

Año	Volumen anual m³	Costos \$
2019 - 2020	157 421	66 856,50
2020- 2021	157 469	66 876,90
2021 - 2022	157 566	66 918,10
2022 - 2023	157 659	66 957,60
TOTAL		267 609,10

El costo de utilización de agua potable en la limpieza de los filtros de los siguientes 4 años de funcionamiento de la planta N° 02 EPSEL S. A. Lambayeque es S/. 888 462,15 por ello se requiere implementar un sistema de tratamiento para recuperar gran parte del agua utilizada.

3.4.3.1 Costos de energía

El costo de energía del sistema de tratamiento propuesto se determina mediante la potencia de bombas a utilizar y el costo actual kW - hora de energía para el sector industrial equivalente a \$ 0,12. A continuación, se presenta la tabla N° 64, la cual indica el costo del consumo de energía del sistema propuesto.

Tabla N° 64. Costo de consumo de energía \$

Equipo	Potencia kW	Tiempo (h)	Energía kW/día	Costo energía kW/h \$	Costo total \$
Bomba centrífuga (4x 1,5)	6	24	144	0,12	17,28
Bomba de eliminación de lodos (1x 0.21)	0,21	3	0,63	0,12	0,26

Elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior, el costo de energía por hora con la finalidad de poder hallar el costo energía por m³ de agua tratada.

A continuación, en la siguiente tabla N° 65 se calcula el costo de energía consumida por el sistema de tratamiento por cada m³ de agua residual tratada.

Tabla N° 65. Costo por m³ de agua tratada

Equipo	Tiempo de tratamiento h/m³	Costo de energía kW/h	potencia kW	Costo energía \$
Bomba centrífuga	0,057	0,41	6	0,14
Bomba de lodos	0,29	0,41	0,21	0,024
TOTAL				0,164

Elaboración propia

El costo de energía por m³ de agua tratada es de \$. 0,164 dólares americanos

3.4.3.2 Costo de insumos

El único insumo utilizado en el tratamiento de agua de lavado de filtros es el cloruro férrico (FeCl₃) 40 mg/l. El costo actual del cloruro férrico en el mercado nacional se observa en la tabla siguiente:

Tabla N° 66. Costo por insumo

Descripción	Unidad	Cantidad
Nombre de insumo	---	Cloruro férrico
Dosis kg/día	Kg/día	16,8
Dosis x m ³	Kg/m ³	0,04
Costo x kg	\$	1,02

3.4.4 Análisis costo beneficio

Como su mismo nombre lo indica, el análisis costo beneficio es una herramienta de ingeniería usada en el sistema financiero que examina la relación entre costos y beneficios de propuestas, proyectos, etc., con el único fin de evaluar que tan rentable resulta esta.

El resultado de la rentabilidad se obtiene dividiendo el total de beneficios entre los costos totales que conlleva implementar el proyecto

En el siguiente cuadro se detalla la herramienta costo beneficio de la propuesta. Los beneficios que obtiene EPSEL son:

- Ahorro en pérdida de agua, pues dándole el tratamiento se puede vender.
- Ahorro de dinero por infracciones.

En contratos con ello, los costos de la propuesta son:

- Insumos
- Mano de obra
- Gasto de energía.

El financiamiento de la propuesta la realizara “mi banco” que ofrece un interés de 12%. el monto del préstamo representa el 60% de la inversión en la implementación, y el 40% restante se responsabiliza la empresa.

Desde el primer año se recuperará el dinero invertido para la realización del proyecto resultando un beneficio económico.

Tabla N° 67. Análisis costo beneficio de la propuesta

BENEFICIO \$.						
Descripción	Año 0	1 año	2 año	3 año	4 año	VNA BENEFICIO
Disminución de costos agua potable.	---	66 856,50	66 876,90	66 918,10	66 957,60	
Ahorro de costo por multa	---	23 750	---	---	---	
Total, beneficio	0	90 606,50	66 876,90	66 918,10	66 957,60	\$. 200 353,81
COSTOS \$.						
Costo de Energía	---	25 817,04	25 824,91	25 840,82	25 856,07	VNA COSTO
Costo insumo Policloruro Férrico	---	6 296,84	6 298,76	6 302,64	6 306,36	
Mano de Obra	---	21 007,50	21 007,5	21 007,5	21 007,50	
Total Costo	61 295,10	53 121,38	53 131,17	53 150,96	53 169,93	\$. 198 841,97
Flujo	- 40 863,40	12 257,98	65 389,15	118 540,11	171 710,04	

Elaboración propia

La tabla N° 67 analiza el beneficio de la propuesta del sistema a raíz de los costos que conlleva su implementación. Dentro de los beneficios de la propuesta se encuentran la disminución del costo de agua potable, pues a raíz de la recuperación del agua se vende y se obtiene ingresos desde \$. 66 856,50 en el primer año hasta \$. 66 957,60 dólares americanos en el último. También la implementación del sistema provoca un ahorro de \$. 23 750 por concepto de multas. Al sumar todos los beneficios de cada año y aplicar la herramienta VNA con el programa Excel obtenemos un beneficio total de \$. 200 353,81

Al igual que los beneficios, los costos de la propuesta como la energía consumida fue de \$. 25 817,04 en el primer año y \$. 25 856,07 en el último. Los insumos representan un costo de \$. 6 296,84 en el primer año y \$. 6 306,36 dólares en el último. Se observa también los costos de la mano de obra.

Los costos de los equipos que conforman el sistema se restaron con la suma de los otros costos. Al final se aplicó nuevamente VNA a la sumatoria de todos los costos obteniendo \$. 198 841,97 dólares americanos,

El siguiente paso es dividir el costo entre el beneficio con el propósito de saber si es viable la propuesta.

$$B/C = \$ 200 353,81 / \$ 198 841,97$$

$$B/C = 1,01$$

Según el análisis, la propuesta de un sistema de tratamiento del agua de lavado de los filtros de la planta N° 02 - EPSEL S. A. Lambayeque resulta ser rentable pues la relación beneficio - costo es mayor que la unidad y a modo de interpretación del resultado se puede decir que por cada dólar que se invierte en la empresa, se obtendrá **S/. 0,101 dólar**

IV. CONCLUSIONES

Los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al agua de lavado de filtros y su comparación con la normativa peruana vigente con el propósito de aprovecharla en el consumo humano, nos permitió caracterizar los parámetros que deben ser reducidos para que se logre dicho propósito. Aluminio residual en 0,44 mg/l, turbidez 525 mg/l, sólidos suspendidos 4 500 mg/l, presencia de coliformes termotolerantes y coliforme fecales son los parámetros del agua residual que deben ser reducidos. También se determinó que para reducir estos parámetros exclusivamente es necesario utilizar tecnología avanzada de tratamiento.

Mediante el método factores ponderados, se determinó la tecnología de ultrafiltración como el tratamiento ideal para reducir el contenido negativo relevante del agua de lavado, resaltando mayor eficiencia en factores como el costo de tecnología, calidad del agua resultante y costos de energía en comparación con microfiltración, osmosis inversa, nanofiltración y electrodiálisis inversa. La selección del tratamiento se realizó en base a las diferentes características, ventajas y desventajas de cada sistema de tratamiento.

El diseño del sistema de tratamiento se basó en 4 procesos más a la tecnología de ultrafiltración. La sedimentación primaria, coagulación floculación y sedimentación secundaria redujeron a gran escala turbidez, aluminio y sólidos suspendidos. Mediante la ultrafiltración se redujo $DBO_{(5)}$ a 0,13 kg/día, aluminio 0,01 mg/l, SST 0,48 mg/l y eliminó microorganismos por completo. El resultado del balance de materia se comparó con la normativa peruana y se obtuvo que su composición del agua tratada se encontró dentro de los límites máximos permisibles de agua de consumo humano.

El beneficio económico que EPSEL S. A. Lambayeque será de **\$ 200 353,81** cantidad que se expresa como ahorro que tendrá la empresa a raíz de la implementación del sistema de tratamiento, mientras que el costo del sistema es de **\$ 198 841,97** más la inversión del proyecto. La relación beneficio costo B/C es **de 1,01** lo que significa que la implementación beneficia a la empresa generando ingresos de **\$ 0,101** por cada dólar invertido. La propuesta permitirá que el 96,5% de agua de lavado de filtros sea aprovechado por la empresa logrando generar ingresos mediante su venta y evitar multas por descargas de efluentes al dren LA - 75 Eureka. El 3,5% del agua restante, una parte se utiliza en mantenimiento desechándose junto con el lodo.

V. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar un estudio para el procesamiento y reutilización de los sólidos productos del tratamiento del agua de lavado de filtros como un nuevo material reutilizable e implementar su transporte para su procesamiento.

Se recomienda investigar variedades de aditivos naturales coagulantes para su utilización en la reducción de sólidos, turbidez, y otras sustancias contenidas el agua.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Mahdavi, M. M. Amin, A. H. Mahvi, P. Hamidreza y A. Ebrahimi, «Metals, heavy metals and microorganism removal from spent filter backwash water by hybrid coagulation-UF processes,» *Water Reuse and Desalination*, vol. 8, n° 2, pp. 225-233, 2018.
- [2] Organismo de evaluación y fiscalización ambiental, «OEFA (Fiscalización ambiental en aguas residuales),» Abril 2014. [En línea]. Available: <https://www.oefa.gob.pe/publicaciones/aguas-residuales>. [Último acceso: 24 Abril 2018].
- [3] Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, «MVCS (Resolución ministerial N° 128 - 2017),» MVCS, Lima, 2017.
- [4] Gestión Sostenible del agua, «SGAGUA - Lima entre la escasez y el desperdicio del agua,» SGAGUA , Lima, 2017.
- [5] Entidad prestadora de servicios de saneamiento de Lambayeque, «EPSEL (Ámbito operativo de Epsel S. A. en la región Lambayeque),» EPSEL S.A, [En línea]. Available: <http://www.epsel.com.pe/Portal/ámbito/>. [Último acceso: 10 Mayo 2018].
- [6] M. Mahdavi, A. Ebrahimi, H. Azarpira, H. Reza Tashauoei y A. H. Mahvi., «Dataset onthespent filterbackwashwater treatmentbysedimentation,coagulation and ultra filtration,» *ELSEVIER*, vol. 15, n° 1, pp. 916-921, 2017.
- [7] M. Shafiqzaman, A. Al-Mahmud, S. S. AlSaleem y H. Haider., «Application of a low cost ceramic filter for recycling sand filter backwash water,» *Water baffles improve Hydraulic performance in waste satbilization Ponds*, vol. 10, n° 2, pp. 1-15, 2018.
- [8] N. Ueda Yamaguchi, A. Liwa Silvia, F. Dasilva Medeiros, A. Marquetotti Salcedo y R. Bergamasco, «Hybrid gravitational microfiltration system for drinking water purification,» *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, vol. 12, n° 2, pp. 168-178, 2017.

- [9] H. A. Fouad, R. M. El-Hefny y M. A. Mohamed, «Reuse of spent filter backwash water,» *International journal of civil engineering and technology (IJCIET)*, vol. Volume 7, n° 4, p. 176 – 187, 2016.
- [10] V. C. López, M. G. Buitrón, H. A. García y C. F. Cervantes, Tratamiento biológicos de las aguas residuales (principios, modelación y diseño), Londres: Iwa publishing, 2017.
- [11] Organización Mundial de la Salud (OMS), «Guías para la Calidad del Agua Potable "recomendaciones",» *Guías para la Calidad del Agua Potable*, vol. 1, n° 3, p. 271, 2006.
- [12] S. R. Rubens, Tratamiento de Aguas Residuales, España: Reverté, S.A., 1996.
- [13] L. M. Rigola, «Tratamiento de aguas industriales: Aguas de proceso y residuales,» de *Tratamiento de aguas industriales*, Barcelona, Marcombo, 1990, pp. 28 - 29.
- [14] Organización Mundial de la Salud (OMS), «<http://www.who.int/es>,» Organización Mundial de la Salud, Ginebra, 2018.
- [15] Environmental Protection Agency, «EPA Environmental Protection Agency,» 2 Diciembre 2002. [En línea]. Available: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=200025V5.txt>. [Último acceso: 2 Mayo 2018].
- [16] L. W. Rivas, Potabilización del Agua (Principios de diseño, control de procesos y laboratorio), Bogotá: Universidad Piloto de Colombia, 2015.
- [17] Ministerio del Ambiente, «MINAM (Decreto supremo N° 004 - 2017),» *El Peruano*, pp. 10-19, 7 Junio 2017.
- [18] Ministerio de salud, «MINSA (Reglamento de la calidad del agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA.),» Elaborado por: Dirección general de salud ambiental del ministerio de salud, Lima, 2011.
- [19] Autoridad nacional del agua, «ANA (Reglamento de la ley de recursos Hídricos ley N° 29338),» ANA, Lima, 2010.
- [20] Ministerio de justicia y derechos humanos, «Ley de procedimiento administrativo general N° 274444,» Ministerio de justicia y derechos humanos, Lima, 2017.

- [21] Autoridad nacional del agua, «ANA - Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales,» Biblioteca nacional del Perú, Lima, 2016.
- [22] Autoridad nacional del agua, «ANA (Reglamento para vertimiento y reuso de aguas residuales tratadas),» ANA, Lima, 2013.
- [23] Organización mundial de la salud, «OMS (Agua, saneamiento y salud),» 2003. [En línea]. Available: http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/wsh0302/es/. [Último acceso: 22 Mayo 2018].
- [24] Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento, «MCVS (Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales doméstica o municipales,» OMA, Lima, 2010.
- [25] Autoridad nacional del agua (ANA), «Reglamento de vertimientos,» ANA, Lima, 2013.
- [26] Dirección general de salud - DIGESA, «Laboratorio de Control Ambiental DIGESA,» 03 04 2017. [En línea]. Available: http://www.digesa.minsa.gob.pe/LAB/recepcion_muestras.asp. [Último acceso: 31 05 2018].
- [27] Ministerio de salud (MINSA), «Lista de requisitos para recepción de muestras de aguas naturales, aguas residuales, agua para uso y consumo humano, aguas salinas y agua de proceso,» MINSA, Lima, 2017.
- [28] Organización Mundial de la Salud OMS, «Guías para la Calidad del Agua Potable "recomendaciones",» *Guías para la Calidad del Agua Potable*, vol. 1, n° 3, p. 271, 2006.
- [29] World Health Organization WHO, «Potable reuse: Guidance for producing safe drinking-water,» 14 08 2017. [En línea]. Available: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/258715/9789241512770-eng.pdf;jsessionid=243A4B52AF9EC4C03B2E4094973FC1FA?sequence=1>. [Último acceso: 06 07 2018].

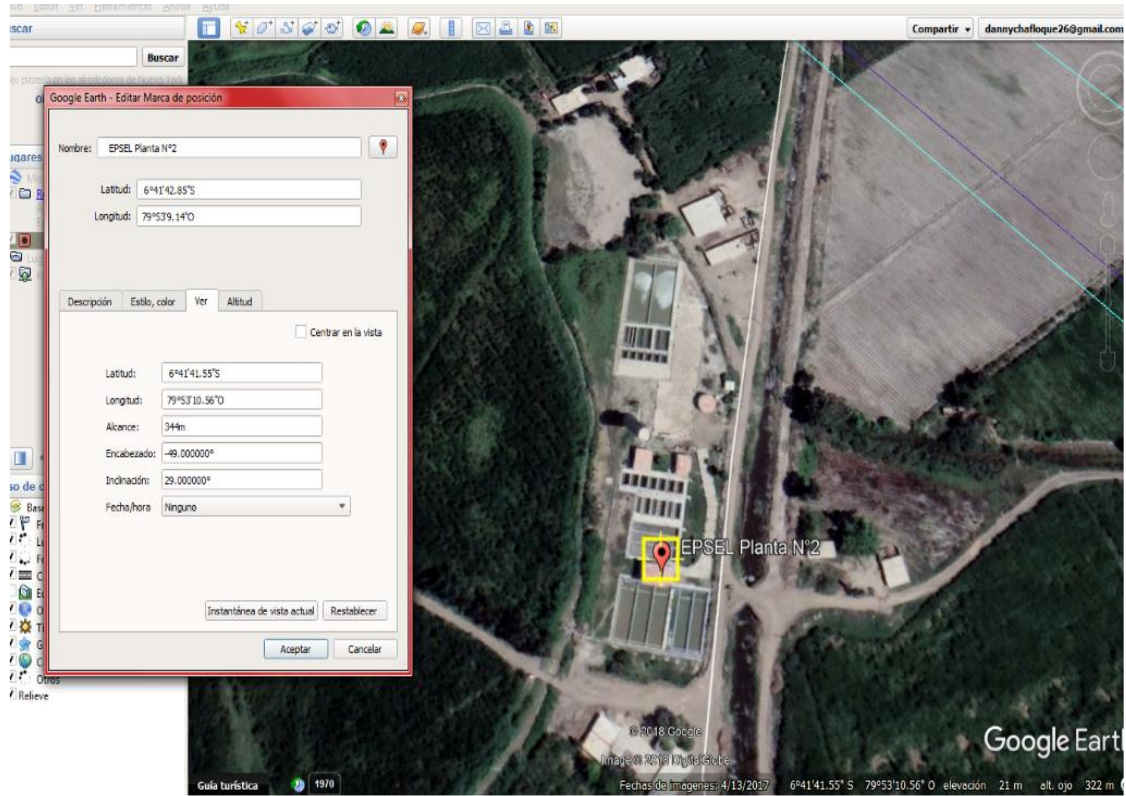
- [30] Environmental Protection Agency (EPA), «Environmental Protection Agency,» 2 Diciembre 2002. [En línea]. Available: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=200025V5.txt>. [Último acceso: 2 Mayo 2018].
- [31] D. L. Russell, Tratamiento de Aguas Residuales un enfoque práctico, Estados Unidos: Reverté, 2012.
- [32] D. Mourato, «Microfiltración y nanofiltración en el area del agua potable,» ZENON Environmental Inc., Burlington,, 1997.
- [33] S. skaya, V. V. Goncharuk y A. Kavitskaya, «Ultrafiltration and nanofiltration—Priority areas in the technology of conditioning drinking water from underground and surface sources,» *Revista de química y tecnología del agua*, vol. 31, nº 2, pp. 115 - 130, 2009.
- [34] United states environmental protection agency EPA, «Membrane filtration guidance manual,» United states environmental protection agency, Washington, DC, 2005.
- [35] Environmental protection agency and CDM smith Inc., «(EPA) Environmental protection agency,» 2017. [En línea]. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/potablereusecompendium_3.pdf. [Último acceso: 02 07 2018].
- [36] M. O. Guzzini, UF1667 (Tratamiento de agua potable), Madrid: Editorial Elearning, S.L, 2015.
- [37] T. Guo, J. Englehardt y T. Wu, «Review of cost versus scale: water and wastewater treatment and reuse processes,» *Water Science & Technology* /, vol. 69, nº 2, pp. 223-234, 2014.
- [38] K. D. Wiesner y M. R. Pickering, «Modelo de costo para la filtración de membranas de baja presión,» *Journal of Environmental Engineering*, vol. 119, nº 5, p. 772–797, 1993.
- [39] Environmental Protection Agency EPA, «Membrane filtration guidance manual,» United states environmental protection agency, Ohio, 2005.

- [40] Zimmerman, J. R. Mihelcic y B. Julie, Ingeniería ambiental fundamentos, sustentabilidad, diseño, México: Alfaomega, 2012.
- [41] American membrane technology association., «Application of membrane technologies,» American membrane technology association (AMTA), Stuart, Florida, 2007.
- [42] Z. Hendren, «Fouling-Resistant membranes for treating concentrated brines for water reuse in advanced energy systems,» RTI International, California, 2018.
- [43] J. E. Hanke, Pronóstico en los negocios, México: Pearson Educación, 2006.
- [44] Ministerio de Vivienda Construcción y saneamiento, «MVCS - Norma Técnica de Edificaciones OS.090 Planta de Tratamiento de Agua Residuales,» de *Norma Técnica de Edificaciones OS.090*, Lima, 2009.
- [45] Ministerio de Vivienda construcción y saneamiento, «Norma OS.020 - Planta de tratamiento de agua potable,» *Reglamento nacional de edificaciones*, vol. 1, n° 1, pp. 37-50, 2006.
- [46] PAVCO, «PAVCO,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.pavco.com.pe/>. [Último acceso: 22 Septiembre 2018].
- [47] Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, «MVCS Norma OS.040- Estaciones de bombeo de agua para consumo humano,» ministerio de vivienda, construcción y saneamiento,, Lima, 2016.
- [48] Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento MVCS, «Norma OS.020 Planta de tratamiento de agua para consumo humano (reglamento nacional de edificaciones),» Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, Lima, 2016.
- [49] P. C. Gonzales, «Diseño de una instalación de membranas sintéticas para la eliminación de contaminantes emergentes procedentes de una EDAR de 1000 Habitantes/día,» Valencia, 2016.
- [50] Superintendencia de prestación de servicios de saneamiento SUNASS, «Reglamento de la calidad de la prestación de servicio de saneamiento,» *El Peruano*, pp. 108-158, 05 02 2007.

- [51] C. Y. C. Paredes y Q. W. G. Chisaguano, *Diseño del sistema de tratamiento y disposición final de lodos en la planta potabilizadora Los alamos.*, Quito, 2016.
- [52] G. Tianjiao, J. Englehardt y W. Tingting, «Review of cost versus scale: water and wastewater treatment and reuse processes,» *Water Science & Technology - IWA Publishing*, pp. 223-234, 2014.
- [53] Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria, «SUNAT (Unidad Impositiva Tributaria UIT),» 2016. [En línea]. Available: <http://www.sunat.gob.pe/indicestosas/uit.html>. [Último acceso: 29 09 2018].

VII. ANEXOS

Anexo N° 1. Ubicación de planta EPSEL S. A. - Lambayeque



Anexo N° 2. Proceso del tratamiento de agua potable

1. Captación



2. Desbaste



3. Canal parshall mezclado sulfato de aluminio



4. Presedimentación



5. Segundo mezclado de sulfato de aluminio



6. Floculación



7. Decantación



8. Filtración convencional



9. Desinfección



10. Envío a planta N° 1 Distribución



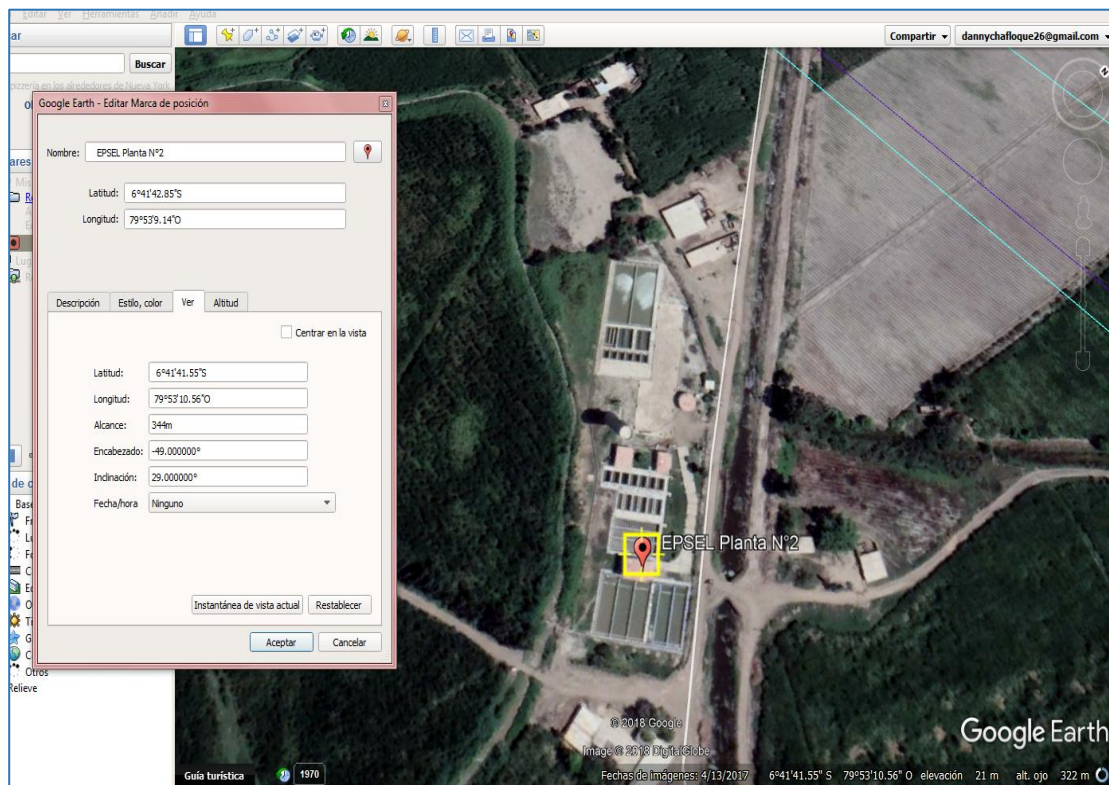
Anexo N° 3. Filtro convencional



Anexo N° 4. Vertimiento de agua de lavado de filtro a dren - La 715 Eureka.



Anexo N° 5. Coordenadas del punto de monitoreo



Anexo N° 6. Recojo de muestra de agua de lavado de filtro

1. Recojo de filtro 4 (A. Microbiológico)



2. Recojo de buzón (A. fisicoquímico)



3. Cámara de lodos



4. Muestra de agua



5. Análisis de turbidez - agua de lavado



6. Resultado de turbidez



Anexo N° 7. Resultado de análisis fisicoquímico



ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.

"TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE
LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICIE"

CHICLAYO 9 DE JUNIO DEL 2018

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE AGUA DE RETROLAVADO DE FILTRO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EPSEL S.A ZONAL LAMBAYEQUE.

SOLICITANTE: DANNY FLORENTINO DAMIAN CHAFLOQUE

ASUNTO: ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUA DE LAVADO DE LOS FILTROS
DE PLANTA N° 02 - EPSEL LAMBAYEQUE.

Muestra recogida por el solicitante y REALIZADAS EN LA MISMA PLANTA
(N°01) por el personal encargada del laboratorio. Muestra de agua de lavado
recepcionada en envase de plástico proporcionado por el mismo laboratorio
limpio con tapa de seguridad obtenidas en condiciones aceptables para su
análisis.

Capacidad de ENVASE: 1000 ml (1,0 litros)
Fecha de Toma de muestra: 09/06/2018 am
Fecha de Resultados: 09/06/2018 12.10 am

PARÁMETROS	UNIDAD	AGUA DE LAVADO DE FILTRO N° 04
Aluminio Residual	mg/l	0,44
Cobre	mg/l	0,09
Hierro	mg/l	0,07
Conductividad	mg/l	398
DBO*	mg/l	8,07
pH	---	7,80
Temperatura	°C	25,40
Turbiedad	NTU	525
Solidos suspendidos totales	mg/l	4500

El análisis fue realizado de manera *gratuita* para la colaboración de la
investigación del tesista y como monitoreo de los desechos de la planta.

ATTE: EPSEL S.A - ZONAL LAMBAYEQUE

Anexo N° 8. Resultado de análisis microbiológico



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
UNIDAD DE SERVICIOS TÉCNICOS



CERTIFICACIÓN N° 031-2018-UST-FIQJA

18 de Julio 2018

SOLICITANTE : DANNY FLORENT DAMIAN CHAFLOQUE
ASUNTO : ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA DE POZO
RETROLAVADO DE LOS FILTROS PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE N°02-EPSEL-
LAMBAYEQUE.
USOS : PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
MUESTRA 01 : AGUA DE RETROLAVADO DE LOS FILTROS DE
PLANTA DE TRATAMIENTO N°02 -EPSEL-
LAMBAYEQUE- 500 mls. (0,5 Litro)- Código
055/LMP

Muestra obtenidas por el solicitante, entregada al personal del Laboratorio de Microbiología.

Muestra de Agua de retrolavado de filtros, recepcionadas en envases de plástico, limpio con tapa de seguridad externa, obtenida en condiciones aceptables, dispuestas en contenedor con hielo, hasta su traslado al Laboratorio de Microbiología.

CAPACIDAD DEL ENVASES : 500 mls.
FECHA DE TOMA DE LA MUESTRA : 05/Junio/2018-09:00 a.m
FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA EN LABORATORIO: 06 DE Junio/2018-11:00 a.m
RESPONSABLE DEL ANALISIS : Lic. Bgo. Microbiólogo Julio Cesar Silva Estela
Fecha de entrega de los resultados : Día 14 de junio del 2018-12:00m

RESULTADOS DEL ENSAYO MICROBIOLÓGICO (BACTERIOLÓGICO-MICOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO) DE 01 MUESTRA DE AGUA DE POZO TUBULAR		
DETERMINACIÓN	MÉTODO	RESULTADOS
Determinación de Bacterias Termotolerantes (44,5°C)	Diluciones Sucesivas-NMP/100 mls.	480 ucf/ml Límite/mililitro: LMP 2000 ACEPTABLE
<i>Bacterias Coliformes Indicadoras de contaminación fecal en Agua de retrolavado de filtros.</i>	Diluciones Sucesivas NMP/100 mls.	120 ufc/ml LMP 2000/ml
<i>Bacterias Patógenas Salmonella (Fam. Enterobacteriaceae)</i>	Diluciones Sucesivas NMP/100 mls. Presencia/Ausencia	AUSENTES



Enterococos contaminantes en Agua de retrolavado de filtros	Diluciones Sucesivas- NMP/100 ml.	AUSENTES
LEVADURAS CONTAMINANTES en agua de retrolavado de grifos	Cultivo directo en placa Reconocimiento de colonias	AUSENTES Limite/militro = 1×10^3 AUSENTES
MOHOS CONTAMINANTES y/o PATOGENS en agua de retrolavado de grifos	Cultivo directo en placa Reconocimiento de colonias y micelios	AUSENTES
INSECTOS Y HELMINTOS		
Observación Microscópica de Huevos, larvas, pupas y/o adultos de Insectos contaminantes y/o Patógenos en Agua de retrolavado de grifos	Observación Microscópica	AUSENTES LMP 0 (Organismos/ml) ACEPTABLE
Observación Microscópica de Huevos, Larvas, Quistes y/o adultos de gusanos nematodos (helmintos) en agua de retrolavado de grifos	Observación Microscópica	AUSENTES LMP 0 (Organismos/ml) ACEPTABLE
Observación Microscópica de Protistas parásitos en sus formas quistes y/o adultos en agua de grifos de cocina	Observación microscópica	AUSENTES LMP 0 (Organismos/ml) ACEPTABLE

CONCLUSIÓN: Según los resultados obtenidos del ensayo microbiológicos (Bacteriológico, Micológico y Parasitológico) de Muestra 035/LMP, correspondiente al Agua de Retrolavado de Filtros de la Planta de Tratamiento de Agua N° 02-EPSEL-LAMBAYEQUE, colectada en condiciones aceptables, en envase de plásticos, utilizando la Técnica de muestreo: Investigación de Laboratorio- Muestreo casual, para evaluación de Carácter higiénico – sanitario y Determinación de la Calidad Microbiológica del Agua de retrolavado de filtros de la Planta de Tratamiento de Agua N° 02 EPSEL –LAMBAYEQUE, se concluye que PRESENTA ACEPTABLE CALIDAD MICROBIOLÓGICA, LOS MICROORGANISMOS DETERMINADOS NO REFIREREN RIESGO SANITARIO ALGUNO. Se sugiere evaluar niveles detectables de Cloro residual, de ser posibles.

Lambayeque, 02 de mayo del 2018

[Firma]
 Sr. Julio Cesar Silva Estela

Anexo N° 9. Método de holt para determinar el pronóstico del agua residual.

MÉTODO DE GUERCHET

Fórmulas:

$$F_t = FF_{t-1} + \alpha (A_{T-1} + F_{T-1})$$

$$FIT_t = F_t + T$$

donde : f= Valor pronosticado
 α = suavizacion exponencial $\geq 0,1$ y ≤ 1
 β = suavizacion de tendencia $\geq 0,1$ y ≤ 1

$$T_t = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

AÑO	MESES	AGUA LAVADO FILTROS	Ft	Tt	FITt	Et	Eta
2017	ABRIL	10640					
	MAYO	12390	10640	250	10890	-1500	2250000
	JUNIO	11830	=+D12+\$K\$11*(C12-D12)			675	455625
	JULIO	11620	11841	374	12215	595	353668
	AGOSTO	12320	11686	163	11849	-471	221907
	SEPTIEMBRE	10500	12130	275	12405	1905	3628991
	OCTUBRE	12150	10989	-291	10698	-1452	2109220
	NOVIEMBRE	12580	11802	150	11952	-628	394362
	DICIEMBRE	12360	12347	308	12655	295	86808
	ENERO	12240	12356	189	12545	305	92785
	FEBRERO	12510	12275	81	12356	-154	23867
	MARZO	12740	12439	114	12554	-186	34696
ABRIL	11890	12650	153	12803	913	832777	

pronóstico de demanda

$\alpha = 0.70$
 $\beta = 0.40$
MSC = 7920187.38
ME = 582.48

Hoja1 2019 TABLA DE PRONOSTICO

Anexo N° 10. Medición de dimensiones del terreno de planta N° 02 Epsel Lambayeque



Anexo N°11. Medición de planta N° 02 Epsel Lambayeque con programa Google Earth pro



Anexo N° 12. Especificaciones de tuberías

Productos de calidad para la tranquilidad de su hogar



PAVCO

PREDIAL-Agua Fría, desagüe y eléctrico - PREDIAL-Agua Fría, desagüe y eléctrico



TUBERIA Y CONEXIONES DE PVC

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TUBERÍA PARA AGUA FRÍA CON ROSCA NTP 399.166 : 2008

Diámetro Exterior		Longitud			Rosca NPT	Clase 10 SDR 21 145 PSI (10 Bar)	
Nominal (Pulg)	Real (mm)	Total (metros)	Rosca (mm)	Útil (Metros)	Hilos Número	Espesor (mm)	Peso Aprox. (Kg x tubo)
1/2"	21.0	5.00	17.2	4.98	14	2.9	1.277
3/4"	26.5	5.00	17.5	4.98	14	2.9	1.663
1"	33.0	5.00	21.8	4.98	11 1/2	3.4	2.443
1 1/4"	42.0	5.00	22.4	4.98	11 1/2	3.6	3.353
1 1/2"	48.0	5.00	22.8	4.98	11 1/2	3.7	3.975
2"	60.0	5.00	23.7	4.98	11 1/2	3.9	5.303

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA TUBERÍA PARA AGUA FRÍA PRESIÓN NTP 399.002 : 2015

Diámetro Exterior		Longitud		Clase 5 SDR 41 72 PSI (5 bar)		Clase 7.5 SDR 27.7 108 Psi (7.5 bar)		Clase 10 SDR 21 145 PSI (10 bar)		Clase 15 SDR 14.3 215 PSI (15 bar)	
Nominal (Pulg)	Real (mm)	Total (metros)	Útil (metros)	Espesor (mm)	Peso (Kg/tubo)	Espesor (mm)	Peso (Kg/tubo)	Espesor (mm)	Peso (Kg x tubo)	Espesor (mm)	Peso (Kg x tubo)
1/2" (I)	21.0	5.00	4.97	-	-	-	-	1.8	0.841	1.8	0.841
3/4" (I)	26.5	5.00	4.96	-	-	-	-	1.8	1.082	1.8	1.082
1"	33.0	5.00	4.96	-	-	-	-	1.8	1.365	2.3	1.717
1 1/4"	42.0	5.00	4.96	-	-	1.8	1.758	2.0	1.943	2.9	2.755
1 1/2"	48.0	5.00	4.96	-	-	1.8	2.020	2.3	2.554	3.3	3.584
2"	60.0	5.00	4.95	1.8	2.544	2.2	3.088	2.9	4.021	4.2	5.692
2 1/2"	73.0	5.00	4.94	1.8	3.111	2.6	4.444	3.5	5.905	5.1	8.407
3"	88.5	5.00	4.93	2.2	4.608	3.2	6.625	4.2	8.593	6.2	12.385
4"	114.0	5.00	4.90	2.8	7.562	4.1	10.944	5.4	14.244	8.0	20.597
6"	168.0	5.00	4.86	4.1	16.326	6.1	23.995	8.0	31.099	11.7	44.432
8"	219.0	5.00	4.82	5.3	27.519	7.9	40.521	10.4	52.713	15.3	75.730
10"	273.0	5.00	4.77	6.7	43.353	9.9	63.290	13.0	82.130	19.0	117.269
12"	323.0	5.00	4.73	7.9	60.487	11.7	75.585	15.4	98.105	22.5	164.301

(I) Sello Sedapal para 21mm y 26.5mm según especificación técnica SEDAPAL.



(*) Certificación NFS INASSA NTP 399.166

(*) Certificación NFS INASSA NTP 399.002

(*) Certificación NFS INASSA NTP 399.003