

Reingeniería y optimización de los procesos de la planta de tratamientos de aguas residuales “Doris Mendoza”

Reengineering and optimization of the processes of the “Doris Mendoza” wastewater treatment plant

<https://doi.org/10.47606/ACVEN/PH0233>

Karina Yupanqui Pacheco^{1*}

<https://orcid.org/0000-0002-4046-1835>
70036558@continental.edu.pe

Brandon Jeferson Alhua Lozano¹

<https://orcid.org/0000-0003-3102-8834>
70149904@continental.edu.pe

Wendy Isabela Espinoza Rojas¹

<https://orcid.org/0000-0002-9781-7652>
74690711@continental.edu.pe

José Vladimir Cornejo Tueros¹

<https://orcid.org/0000-0001-8233-858X>
41588643@continental.edu.pe

Recibido: 28/10/2023

Aceptado: 02/01/2024

RESUMEN

La investigación aborda la gestión inapropiada de las aguas residuales urbanas y su impacto en la salud y el medio ambiente, destacando la necesidad de sistemas de tratamiento eficientes. Se analizó el incremento anual del consumo de agua y su distribución en sectores agrícola, municipal e industrial. La metodología incluye un análisis detallado de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Doris Mendoza en el distrito de Concepción, evaluando sus procesos y equipamiento; como el Canal de Parshall, las rejillas de cribado, tanques de almacenamiento y homogenización, decantadores, biorreactores, clarificadores, digestores de lodos y lechos de secado. Se recalcula el caudal de diseño y se lleva a cabo una optimización de cada proceso, considerando el caudal y el tiempo de retención hidráulica. Se propone un enfoque de reingeniería para mejorar la eficiencia y rentabilidad de la planta, enfocándose en la estabilidad y eficiencia del sistema. En conclusión, la investigación resalta la importancia de recalcular y ajustar las operaciones de la planta, aplicando optimizaciones específicas a cada etapa para garantizar un tratamiento eficiente del agua residual.

Palabras claves: Aguas residuales, planta de tratamiento, mejora de procesos.

1. Universidad Continental – Perú

* Autor de correspondencia: 70036558@continental.edu.pe

ABSTRACT

The research addresses inappropriate urban wastewater management and its impact on health and the environment, highlighting the need for efficient treatment systems. The annual increase in water consumption and its distribution in agricultural, municipal and industrial sectors was analyzed. The methodology includes a detailed analysis of the Doris Mendoza Wastewater Treatment Plant (WWTP) in the district of Concepción, evaluating its processes and equipment; such as the Parshall Canal, screening grates, storage and homogenization tanks, decanters, bioreactors, clarifiers, sludge digesters and drying beds. The design flow is recalculated and an optimization of each process is carried out, considering the flow and hydraulic retention time. A reengineering approach is proposed to improve the efficiency and profitability of the plant, focusing on the stability and efficiency of the system. In conclusion, the research highlights the importance of recalculating and adjusting plant operations, applying specific optimizations to each stage to guarantee efficient wastewater treatment.

Keywords: Wastewater, treatment plant, process improvement.

INTRODUCCIÓN

La gestión inapropiada de las aguas residuales urbanas ha elevado las tasas de enfermedades, como la diarrea y la gastroenteritis, debido a la presencia de microorganismos y otras sustancias en estos desechos (Delgado et al, 2023). Con el crecimiento de la población, las emisiones de aguas residuales, tanto domésticas como industriales, comenzaron a afectar adversamente los recursos hídricos y a causar daños en los ecosistemas, entre otros problemas. Esta situación hizo imperativo instaurar sistemas de tratamiento de aguas residuales (Cárdenas et al, 2023).

El consumo de este recurso experimenta un incremento anual del 1%, proyectándose que mantendrá esta tendencia hasta el 2050, llegando a aumentar hasta un 30% en comparación con los niveles actuales. Según la FAO (2012), entre los diversos usos del agua, se destacan los sectores agrícola, municipal e industrial, representando en promedio el 70%, 11% y 19% del consumo, respectivamente (Mora et al, 2022). Los métodos de tratamiento más comunes son aquellos que emplean microorganismos, ya que son económicos, eficaces y no generan subproductos contaminantes. Además, son aplicables en áreas donde se producen contaminantes orgánicos (Cabrera et al, 2021). La depuración de aguas residuales mediante técnicas de lodos activados es una práctica común para limpiar aguas residuales urbanas e industriales, ya que ofrece una eficacia elevada en el tratamiento y costos operativos bajos (Izquierdo et al, 2017). Las aguas residuales son líquidos desechados que han cambiado su composición original debido al impacto ambiental. El estudio de estas aguas está estrechamente relacionado con su tratamiento.

La alteración se debe al aumento de la población y a una planificación territorial deficiente, generando problemas como la contaminación de los recursos debido a la gestión inadecuada de residuos sólidos y líquidos (Alfaro-Arrieta, 2023). La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Doris Mendoza, planificada para procesar aguas residuales domésticas en el distrito de Concepción, empleaba un método basado en tanques de lodos activados con una eficacia del 65 al 75%. No obstante, en la actualidad, se encuentra en desuso, mayormente por motivos económicos, ya que su funcionamiento demandaba una considerable cantidad de energía eléctrica, generando costos financieros elevados. El presente artículo, evalúa los procesos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Doris Mendoza” y propone el diseño de Reingeniería y optimización.

METODOLOGÍA

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) DORIS MENDOZA, está situada en el distrito de Concepción, provincia de Junín, en el departamento del mismo nombre. Es gestionada por la EPS Mantaro S.A., que posteriormente cedió su responsabilidad a la municipalidad de Concepción. La PTAR se localiza en la parte baja de la capital de la provincia de Concepción, junto al río Achamayo/Mantaro.

Figura 1. Ubicación de la PTAR en la provincia de Concepción, región Junín.



Fuente: Google maps (2023)

La PTAR DORIS MENDOZA PAREDES fue inaugurada en 2011 por el presidente Ollanta Humala Taso y ha estado en funcionamiento desde el 6 de marzo de 2014. Con una extensión de 3000 metros cuadrados, se estima que iba a tener una vida útil de aproximadamente 25 años.

Procesos de la PTAR Doris Mendoza

Canal de Parshall

La Canaleta Parshall, creada por R. Parshall en 1920, se emplea principalmente en aguas residuales y sistemas de riego. Parshall estableció dimensiones específicas mediante ecuaciones para su diseño. Una de sus ventajas radica en la conversión eficiente de energía de posición a energía de velocidad, evitando pérdidas mínimas de energía y la sedimentación, a diferencia de otras estructuras de medición (De la Cruz et al, 2022). La PTAR Doris Mendoza cuenta con un canal de Parshall hecho de mampostería convencional, ladrillos de arcilla y concreto.

Rejillas de Cribado

La rejilla está compuesta por barras rectangulares de hierro con un diámetro de 1/8" dispuestas en paralelo con un espacio de 2 cm entre ellas, formando un ángulo de inclinación de 30° respecto a la horizontal. Este diseño promueve la formación de capas gruesas de biopelícula que, al capturar los desechos orgánicos, reduce el área de paso a través de las rejillas (Pimiento et al, 2023).

Tanque de Almacenamiento y Homogenización

El depósito de bombeo está compuesto por dos estructuras subterráneas de concreto unidas. Cada una de ellas está equipada con un sistema que incluye dos bombas sumergibles, un control de nivel con bollas y un panel de control centralizado que permite la manipulación en los modos manual, apagado y automático. Además, cuentan con un mecanismo de polipasto para elevar los equipos de bombeo y una compuerta manual para el ingreso del agua (Pimiento y Cárdenas, 2021).

Tanque Decantador Primario

La función principal del decantador primario reside en la eliminación de sólidos en suspensión mediante un proceso prolongado en el que la gravedad facilita la sedimentación de partículas más fácilmente separables (Alfonso, 2017).

Biorreactor

Es un dispositivo que utiliza microorganismos para descomponer y tratar los contaminantes presentes en el agua residual. Estos microorganismos, como bacterias y hongos, metabolizan los compuestos orgánicos, contribuyendo a la depuración del agua antes de su descarga (Vásquez et al, 2018). El biorreactor de la planta de tratamiento Doris Mendoza de Concepción está dividida en 2 secciones dentro de las cuales se inyectan 3 tubos para la oxigenación de materia orgánica dentro de las 2 pozas para la oxigenación de materia orgánica y diversos organismos endógenos.



Figura 2. Tanque biorreactor. *Fuente: Trabajo de campo (2023)*

Tanque Sedimentador Secundario

Es una estructura diseñada para separar los sólidos suspendidos restantes del agua residual tratada. En este proceso, los sólidos más pequeños que quedan después de tratamientos primarios y biológicos se asientan y se eliminan, permitiendo obtener un efluente más limpio antes de su liberación en el medio ambiente (Mora et al, 2017).

Este clarificador secundario cuenta con un sistema de brazo hidráulico cual tiene como función arrastrar los lodos que se encuentran dentro del proceso y una vez estos alcancen una altura determinada pasarán al siguiente tratamiento, dentro de este proceso se cuenta con un diseño medio cónico para facilitar el tránsito de los lodos residuales que deja el proceso.



Figura 3. Tanque decantador secundario Digestor De Lodos. *Fuente: Trabajo de campo (2023)*

Estos biosólidos, que son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos, se generan como resultado de los procesos mecánicos, biológicos y químicos utilizados para purificar las aguas residuales en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Contienen una abundancia de materia orgánica, microorganismos, macro y micro nutrientes, así como metales pesados y agua (Amador et al, 2015).

Figura 4. Tanque digester de lodos. *Fuente: Trabajo de campo (2023)*



Lechos De Secado

Los lechos de secado son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados. Los requisitos de área de los lechos de secado se determinan adoptando una profundidad de aplicación entre 20 y 40 cm y calculando el número de aplicaciones por año (Castellanos et al, 2015). En la PTAR Doris Mendoza encontramos 25 lechos de secado, los cuales presentaban una pequeña zona con grava y ausencia de concreto, cuya utilidad es la de permitir el contacto de los lodos con la tierra para complementar el proceso. Adicionalmente, podemos entender que estos lodos pueden ser aprovechados como compuestos de fósforo y nitrógeno para actividades agrícolas, previa evaluación de sus propiedades en laboratorio.

Figura 5. Lechos de secado. *Fuente: Trabajo de campo (2023)*



Después de familiarizarse con los procedimientos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Doris Mendoza, se llevó a cabo la evaluación de las particularidades de cada proceso. Estas características fueron identificadas mediante la revisión de la Memoria Anual de la EPS Mantaro, la empresa encargada de los servicios (EPS Municipal MANTARO, 2022). El conocimiento de las características facilitó la comprensión detallada de cada proceso. Estos detalles fueron fundamentales para realizar observaciones y optimizar las acciones específicas de cada etapa.

Tabla 1.
Característica de cada proceso de la PTAR Doris Mendoza

CARACTERÍSTICAS	MEDIDA
Caudal de diseño (L/s)	80
Tiempo de retención hidráulica (h)	24
Número de líneas	01
Dimensiones Útiles del Decantador	
• Volumen útil (m3)	948
• Diámetro (m)	17
• Altura (m)	4.4
• Tiempo de retención (h)	2
Biorreactor	
• Volumen útil (m3)	3520
• Altura (m)	4.2
• Tiempo de retención (h)	6
Clarificador	
• Volumen útil (m3)	1350
• Diámetro (m)	22
• Altura (m)	4
Digestor de lodos	
• Volumen útil (m3)	580
• Diámetro (m)	13
• Altura (m)	4.50
Lecho de secado	
• Volumen útil (m3)	46

Fuente: Tomado de Memoria Anual de la EPS Mantaro (2022).

RESULTADOS

La reingeniería implica recrear y reconfigurar de manera radical las actividades y procesos de la empresa para lograr mejoras significativas y rápidas en rentabilidad, productividad, tiempo de respuesta y calidad. Este enfoque busca obtener ventajas competitivas a través de cambios profundos en los sistemas de la compañía (Ospina Duque, 2006).

Dentro de las especificaciones, se indica el caudal de diseño que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) puede manejar. La primera medida consiste en captar todas las redes del distrito de Concepción. Utilizando los datos de densidad demográfica del INEI y la información sobre la dotación de agua potable en Datass para la provincia de Concepción, se llevó a cabo el cálculo de la dotación para el distrito y se determinaron los caudales de agua residual de la siguiente manera:

$$x = \frac{15\,428 \text{ habitantes} \times 7\,791\,475 \text{ L/d}}{42\,137 \text{ habitantes}} \quad x = 2\,852\,763 \text{ L/d}$$

Utilizando la regla de aspa simple, se logró determinar la cantidad de agua potable disponible para la población basándose en el tamaño del distrito.

Cálculo Del Caudal De Agua Residual Doméstica (ARD)

la Guía Técnica para la Evaluación de Impacto Ambiental de Aguas Residuales de El Salvador, se hace referencia al tipo común de agua residual, originada por las actividades cotidianas de las personas, como el uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y actividades similares. En la práctica, entre el 60 % y el 80 % del agua potable consumida se convierte en agua residual, y si consideramos también el agua proveniente de las precipitaciones atmosféricas, las cifras de agua residual pueden superar las de consumo (17. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2019).

$$\begin{aligned} \text{ARD} &= \text{Dotación} \times 0.80 \\ \text{ARD} &= 2\,852\,763 \text{ L/d} \times 0.80 \\ \text{ARD} &= 2\,282\,210 \text{ L/d} \end{aligned}$$

Cálculo Del Caudal De Agua Residual Industrial (ARI)

En la determinación del volumen total de agua residual, se consideró el 80% proveniente de fuentes domésticas, mientras que el 20% restante se atribuirá a la categoría de agua residual industrial. Esta última fracción se relaciona principalmente con las actividades de menor escala llevadas a cabo en el distrito, destacando especialmente las prácticas artesanales.

$$\begin{aligned} \text{ARI} &= \text{ARD} \times 0.20 \\ \text{ARI} &= 2\,282\,210 \text{ L/d} \times 0.20 \\ \text{ARI} &= 456\,442 \text{ L/d} \end{aligned}$$

Cálculo Del Caudal De Agua Residual Municipal (ARM)

La suma de las dos cantidades previamente calculadas nos proporcionará la información sobre la cantidad total de agua residual urbana.

$$\begin{aligned} ARM &= ARD + ARI \\ ARM &= 2\ 282\ 210\ L/d + 456\ 442\ L/d \\ ARI &= 2\ 738\ 652\ L/d \end{aligned}$$

Optimización por cada proceso

Iniciamos por el Biorreactor, Tomando en cuenta un corto periodo de retención de agua (TRH) de 6, 10 y 16 horas, los sólidos suspendidos en la mezcla de licor (SSLM) oscilan entre 3800 y 7800 mg/L. Se consideró el (TRH) óptimo de 6 horas, debido a que en ese tiempo se degrada la mayor cantidad de materia orgánica la población microbiana aumenta.

El biorreactor posee 2 tanques y la información de sus características menciona que el volumen útil es de 3520 m³, para el cálculo se considerará solo 1 tanque. El tanque posee una característica particular, el paso de agua de un tanque a otro es por rebase, lo que quiere decir que debe estar lleno para que pase a otro tanque, por la forma que posee no ocupa el 100% del tanque, solo un 80%, ya que los 20% restantes es usado como contingencia, entonces el 80% del volumen del tanque es de 1408 m³

$$\begin{aligned} \text{Para } V &= 1408\ m^3(1) \\ V &= QQ \times Tr \\ 1408\ m^3 &= QQ \times 6h \\ QQ &= 1408\ m^3 / 6\ h \\ QQ &= 234.67\ m^3/h \\ QQ &= 65.19\ L/s \end{aligned}$$

La ecuación 1 es la ecuación del Tiempo de Retención Hidráulico; donde, V= volumen, Q= es caudal y Tr = Tiempo de retención hidráulico. El flujo encontrado es el necesario para que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Doris Mendoza funcione de manera eficiente. Dando prioridad al biorreactor, se ajustaron los cálculos de los otros elementos.

Decantador:

$$\begin{aligned} V &= QQ \times Tr \\ 948\ m^3 &= 65.19\ L/s \times Tr \\ 948\ m^3 &= 234.684\ m^3/h \times Tr \\ Tr &= 4.04\ h \end{aligned}$$

Clarificador

$$V = QQ * TRh$$

$$1350 \text{ m}^3 = 65.19 \text{ L/s} \times TRh$$

$$TRh = 1350 \text{ m}^3 / 234.684 \text{ m}^3/h$$

Digestor de Lodos

$$TRh = 5.75 \text{ h}$$

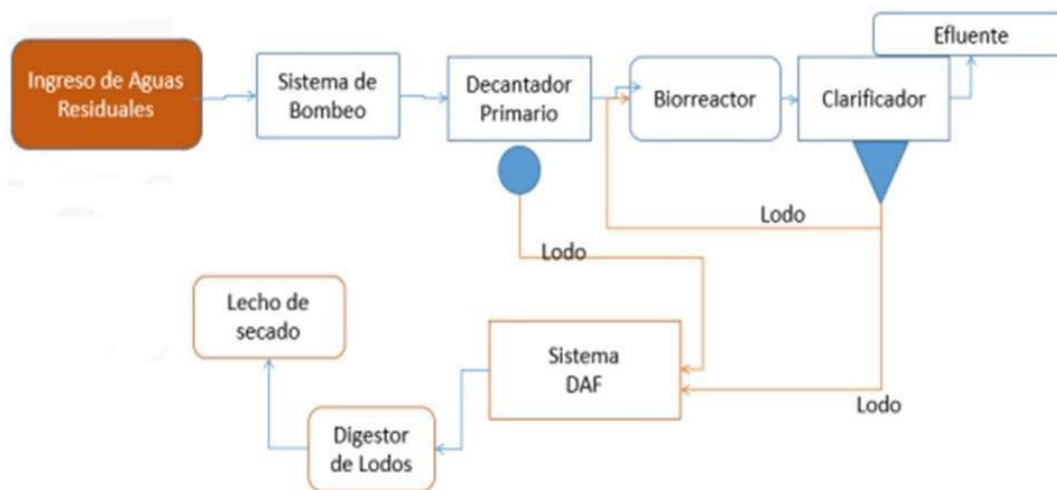
$$V = QQ * TRh$$

$$580 \text{ m}^3 = 65.19 \text{ L/s} \times TRh$$

$$TRh = 580 \text{ m}^3 / 234.684 \text{ m}^3/h$$

$$TRh = 2.47h$$

Figura 5. Proceso de la PTAR Doris Mendoza. Fuente: EPS Mantaro (2022)



Para la optimización es necesario poder considerar un desarenador, el diseño del mismo ha sido desarrollado a partir de la información calculada.

Desarenador

$$V_f = 0.4 \frac{m}{s}$$

$$A_t = \frac{Q}{V_f} = \frac{0.06519 \frac{m^3}{s}}{0.2 \frac{m}{s}} = 0.326 \text{ m}^2 = \sqrt{0.326} = 0.001 \text{ m}$$

Hallar el Área superficial

$$A_s = \frac{Q}{C_s} = 0.06519 \frac{m^3}{s} * \frac{3600 s}{1 h} = 5.87 m^2$$

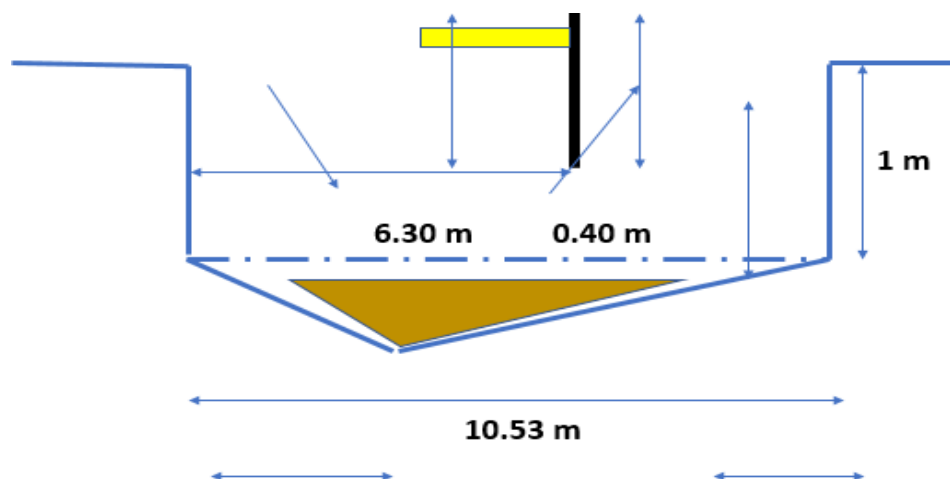
$$Ancho = \frac{A_T}{P} = \frac{0.571}{1m} = 0.571 m$$

$$Largo = \frac{A_s}{Ancho} = \frac{5.87 m^2}{0.571} = 10.28 m$$

Los cálculos proporcionados son para el diseño de un desarenador en un sistema de tratamiento de aguas residuales. La velocidad de flujo (V_f) establecida es de 0.4 m/s. Para determinar el área transversal (A_t), se divide el caudal (Q) de 0.06519 m³/s por V_f , resultando en 0.326 m².

El área superficial (A_s) se calcula convirtiendo Q a m³/h (multiplicando por 3600 s/h), y luego dividiendo por la velocidad de sedimentación de las partículas (C_s), obteniendo 5.87 m². Las dimensiones del desarenador incluyen un ancho de 0.571 m, calculado dividiendo el área transversal por una profundidad predeterminada de 1 m, y un largo de 10.28 m, obtenido al dividir el área superficial por el ancho. Estos cálculos son cruciales para asegurar que el desarenador tenga el tamaño adecuado para manejar el caudal y remover eficientemente sedimentos y partículas de arena del agua tratada.

Figura 11. Diseño del desarenador. Fuente: los autores (2023)



Tanque de Homogenización

Tabla 2.
Ingreso de caudal a la PTAR por cada hora

Periodo		Tiempo		Caudal		Volumen horario	Volumen acumulado
		t (h)	Q (L/s)	Q (m3/s)	Vh(m3)	Vac(m3)	
12:00 a.m.	1:00 a.m.	1	2.3	0.002	8.28	8.28	
1:00 a.m.	2:00 a.m.	2	4.1	0.004	14.76	23.04	
2:00 a.m.	3:00 a.m.	3	5.2	0.005	18.72	41.76	
3:00 a.m.	4:00 a.m.	4	5.2	0.005	18.72	60.48	
4:00 a.m.	5:00 a.m.	5	8.7	0.009	31.32	91.80	
5:00 a.m.	6:00 a.m.	6	35.3	0.035	127.08	218.88	
6:00 a.m.	7:00 a.m.	7	65.2	0.065	234.72	453.60	
7:00 a.m.	8:00 a.m.	8	85	0.085	306.00	759.60	
8:00 a.m.	9:00 a.m.	9	65.2	0.065	234.72	994.32	
9:00 a.m.	10:00 a.m.	10	55.5	0.056	199.80	1194.12	
10:00 a.m.	11:00 a.m.	11	25.1	0.025	90.36	1284.48	
11:00 a.m.	12:00 p.m.	12	19.2	0.019	69.12	1353.60	
12:00 p.m.	1:00 p.m.	13	15.2	0.015	54.72	1408.32	
1:00 p.m.	2:00 p.m.	14	40	0.040	144.00	1552.32	
2:00 p.m.	3:00 p.m.	15	30.1	0.030	108.36	1660.68	
3:00 p.m.	4:00 p.m.	16	15.4	0.015	55.44	1716.12	
4:00 p.m.	5:00 p.m.	17	17.1	0.017	61.56	1777.68	
5:00 p.m.	6:00 p.m.	18	11.1	0.011	39.96	1817.64	
6:00 p.m.	7:00 p.m.	19	29.4	0.029	105.84	1923.48	
7:00 p.m.	8:00 p.m.	20	49.9	0.050	179.64	2103.12	
8:00 p.m.	9:00 p.m.	21	25.1	0.025	90.36	2193.48	
9:00 p.m.	10:00 p.m.	22	19.4	0.019	69.84	2263.32	
10:00 p.m.	11:00 p.m.	23	11.1	0.011	39.96	2303.28	
11:00 p.m.	12:00 a.m.	24	8.1	0.008	29.16	2332.44	
Promedio			27.00	0.027	97.19	1230.66	

Nota: Datos simulados EPS Mantaro (2022)

El cuadro presenta datos de caudales de ingreso a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en un periodo de 24 horas, mostrando el caudal en litros por segundo (L/s) y su conversión a metros cúbicos por segundo (m³/s), junto con el volumen tratado cada hora y el acumulado diario. Comenzando a medianoche, los caudales varían significativamente, desde 2.3 L/s a la 1:00 a.m. hasta 85 L/s a las 7:00 a.m., reflejando cambios en el flujo de entrada.

El volumen horario se calcula multiplicando el caudal en m³/s por 3600 segundos, resultando en volúmenes que van desde 8.28 m³ hasta 306 m³. El volumen acumulado al final del día alcanza 2332.44 m³, con un caudal promedio diario de 27.00 L/s (0.027 m³/s) y un volumen horario promedio de 97.19 m³. Este análisis detallado es crucial para la gestión eficiente de la PTAR, permitiendo ajustar los procesos de tratamiento según la variabilidad diaria en el flujo de aguas residuales.

Tabla 3.
Unidades del caudal de ingreso a la PTAR



Qm L/S	27.00	L/s
Qm m3/s	0.027	m3/s
V día	2332.44	m3
Tiempo (h)	Caudal (m3/s)	
1	0.027	
24	0.027	

Fuente: *EPS Mantaro (2022)*

El cuadro proporciona información sobre el caudal y el volumen de agua en un sistema de tratamiento. El "Qm L/S" indica un caudal medio de 27 litros por segundo, equivalente a 0.027 metros cúbicos por segundo ("Qm m³/s"). Este caudal constante, mantenido tanto en la hora 1 como en la hora 24, sugiere un flujo uniforme y continuo. El volumen total de agua procesada en un día, indicado como "V día", es de 2332.44 metros cúbicos, calculado al multiplicar el caudal (0.027 m³/s) por el número de segundos en un día (86,400). Esta información es crucial para entender la capacidad y eficiencia operativa del sistema, ya que un flujo constante y controlado es vital para el tratamiento efectivo y la gestión de aguas residuales.

Figura 12. Desplazamiento de las horas y caudal de ingreso, con base a EPS Mantaro (2022)

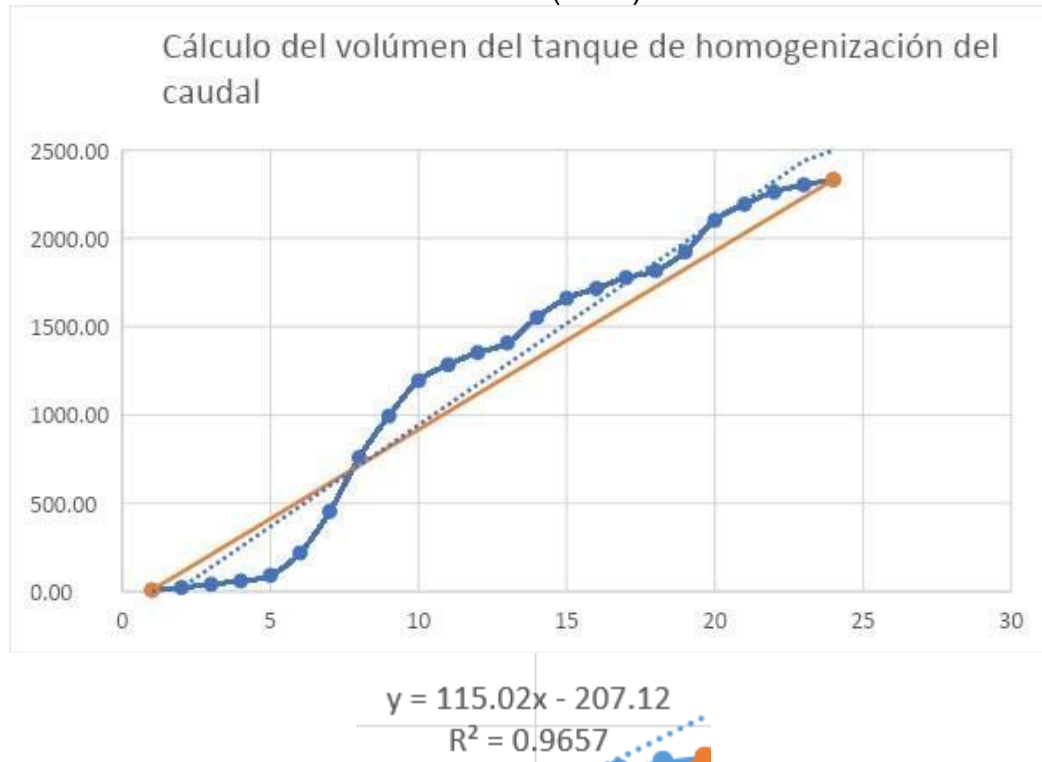


Figura 13. Regresión y ecuación para determinar el volumen del tanque homogeneizador, con base a EPS Mantaro (2022).

Valores de la Ecuación	
	115.02
	207.12
Volumen del tanque	443.52
V1	-163.20
V2	606.72

Para asegurar la coherencia y eficacia del diseño propuesto para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), se identificó la necesidad de contar con un tanque homogenizador con una capacidad máxima de 606.72 m³. Esta capacidad adicional es esencial para garantizar que los diversos caudales que ingresan a la PTAR no afecten negativamente la estructura y operación previamente planeadas. Por el contrario, esta reserva de capacidad permitirá que se mantenga el caudal calculado de 65.19 l/s de manera constante, contribuyendo así a la estabilidad y eficiencia del sistema.

CONCLUSIÓN

En conclusión, el enfoque principal del análisis se concentró en los cálculos de caudal, tiempo de retención hidráulica y optimización de procesos para mejorar la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Doris Mendoza. Se revisaron y recalcularon los caudales de agua residual doméstica, industrial y municipal, realizando ajustes en las operaciones de cada componente de la planta. Se detalló el caudal de diseño de la PTAR, y se determinaron los caudales de agua residual mediante cálculos basados en datos demográficos y de dotación de agua potable. Las operaciones de optimización se aplicaron a cada fase del proceso, desde el biorreactor hasta el digestor de lodos, adaptando los cálculos para garantizar un funcionamiento eficiente de cada componente.

REFERENCIAS

- Alfaro-Arrieta, Ernesto. (2023). Caracterización de lodos activados procedentes, dos Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ubicadas en Costa Rica. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 24(3)Epub 17 de noviembre de 2023. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2023.24.3.019>
- Alfonso Menacho, V. L. (2017). Evaluación del tanque Imhoff en el tratamiento de las aguas residuales en el Municipio de Colmenar, Málaga. *Aporte Santiaguino*, 9(2), pág. 237–252. <https://doi.org/10.32911/as.2016.v9.n2.198>
- Amador - Díaz, A., Veliz - Lorenzo, E., & Bataller - Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 46 (),1-10. ISSN: 1015-8553. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181642434003>
- Cabrera Estrada, Isabel, Arbona Cabrera, Mercedes, García Hernández, María de los Ángeles, & González Cortés, Elizabeth. (2021). EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE NUTRIENTE BIOLÓGICO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA TEXTILERA “DESEMBARCO DEL GRANMA”. *Centro Azúcar*, 48(1), 1-12. Epub 01 de enero de 2021 Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000100001&lng=es&tlng=es.
- Cárdenas, Elsa, Allende, Zunilda, Ferreira, María, Velázquez, Alan y Vogt, Christian. (2023). Estudio de la capacidad depuradora de *Pistia stratiotes* L. en el tratamiento de aguas residuales generadas en el Laboratorio de Efluentes de FACEN-UNA. *Reportes científicos de la FACEN*, 14 (1), 70-77. Publicación electrónica el 00 de junio de 2023. <https://doi.org/10.18004/rcfacen.2023.14.1.70>
- Castellanos-Rozo, José & Merchán, Nuri & Galvis, Jaqueline & Manjarres Hernández, Elsa. (2018). Deshidratación de los lodos en lecho de secado y su influencia sobre la actividad biológica de los microorganismos. *Gestión y Ambiente*. 21. 242-251. 10.15446/ga. v21n2.75876.
- De la Cruz Vega, Sleyther Arturo; Mendoza Flores, Cristian Milton; Arteaga Valdez, Fernando Ricardo; Toledo Toledo, Cristina Johanna; Llatas Villanueva, Fernando Demetrio y Zumarán Irribarren, José Luis (2022). Hidráulica

Capítulo 7: Diseño de canaleta Parshall. MINERVA, MULTIDISCIPLINARY JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH Vol. 3, N° 7 April 2022 (pp. 51-77).

<https://doi.org/10.47460/minerva.v3i7.53>

Delgado-Villalobos, Andrea, Sibaja-Brenes, José Pablo, Zúñiga-Castro, Wilfred, Vega-Guzmán, Ilena, Alfaro-Solís, Rosa, Mora-Barrantes, José Carlos, & Borbón-Alpizar, Henry. (2023). Distribución espacial de las emisiones atmosféricas de sulfuro de hidrógeno y amoníaco en un sistema de tratamiento de aguas residuales en Costa Rica, mediante el modelo de dispersión de gases AERMOD. Uniciencia, 37(1), 154-169.

<https://dx.doi.org/10.15359/ru.37-1.9>

EPS Municipal MANTARO (2022). Memoria Anual . Concepción, Perú : Municipalidad Mantaro S.A., 2015 - 2022. Disponible en: <https://epsmantaro.pe/memoria-anual/>.

Izquierdo Cardona, Julian Esteban; Montealegre Palma, Oscar Javier Y Muñoz Tobón Elior (2017) Evaluación y formulación de microorganismos eficaces para el tratamiento de aguas residuales generadas en una industria PORCÍCOLA de municipio Pereira, Risaralda. [Trabajo de grado] Universidad Libre Seccional Pereira Belmonte. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16161/EVALUACION%20Y%20FORMULACION%20DE%20MICROORGANISMOS.pdf?sequence=1>

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2019). Guía Técnica para la Evaluación de Impacto Ambiental de Aguas Residuales. El Salvador: s.n., 2019. Disponible en:

https://appsdec.marn.gob.sv/docs/10Guia_Residuales.pdf.

Mora, E. C., Ugalde Herra, J. L., & Rodríguez Cambronero, D. (2017). Evaluación de una planta piloto para el tratamiento de aguas residuales ordinarias por medio de un filtro percolador con relleno de esponjas colgantes de flujo descendente (DHS) como postratamiento de un efluente de sedimentador primario. Ingeniería, 28(1), 60–79. <https://doi.org/10.15517/ri.v28i1.30931>

Mora-Aparicio, Carmen, Alfaro-Chinchilla, Carolina, Pérez-Molina, Junior Pastor, & Vega-Guzmán, Ilena. (2022). Aporte ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales Los Tajos en la remoción de contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos. Uniciencia, 36(1), 511-527. <https://dx.doi.org/10.15359/ru.36-1.33>

Ospina Duque, R., (2006). La reingeniería de procesos: una herramienta gerencial para la innovación y mejora de la calidad en las organizaciones. Cuadernos Latinoamericanos de Administración, II (2),91-99. ISSN: 1900-5016. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=409634344006>

Pimiento, K. A., Cárdenas, González M. J. Y Villamizar-Florez J. A. (2023). Evaluación de los procesos de pretratamiento en un sistema de depuración de efluentes líquidos industriales del sector lácteo. Scientia et Technica Año XXVIII, Vol. 28, No. 01, enero-marzo de 2023. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701 y ISSN: 2344-7214 23

<https://doi.org/10.22517/23447214.24948>

- Pimiento, Kleiver y Cárdenas-González, Marco José (2021). Evaluación del tratamiento preliminar y primario para las aguas residuales del procesamiento industrial de alimentos en La Grita. INGEUCUC, Vol. 17 Núm. 1 (2021): (Enero - Junio). <https://doi.org/10.17981/ingecuc.17.1.2021.01>
- Vásquez, Edgardo, Trapote, Arturo, & Prats, Daniel. (2018). Eliminación de pesticidas mediante un biorreactor de membrana y dos tiempos diferentes de retención celular. Tecnología y ciencias del agua, 9(5), 198-217. Epub 24 de noviembre de 2020. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-05-08>