

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v5i5.2598>

Optimización energética en planta de tratamiento de agua potable de Manabí

Energy optimization in a potable water treatment plant in Manabí

Luis Damián Macías García

lmacias1083@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8373-9569>

Facultad de Posgrado. Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo – Ecuador

Lenin Julián Pita Cantos

lenin.pita@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3847-0554>

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo – Ecuador

Artículo recibido: 21 de agosto de 2024. Aceptado para publicación: 04 de septiembre de 2024.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

La gestión eficiente de la energía en las PTAP es crucial para la sostenibilidad y los costos de operación, la investigación actual tiene como objetivo obtener una optimización, a través de los indicadores que tienen incidencia directa, en una planta de tratamiento de agua potable de Manabí, que contribuya en una propuesta de mejora de eficiencia energética en los procesos de la estación, evaluar el estado del arte sobre los sistemas de gestión energética. Caracterizar las condiciones de operación de los procesos de potabilización, determinar el impacto económico que generan los factores de incidencia que influyen en la eficiencia energética, e identificar oportunidades para establecer un plan de mejoras en el desempeño energético. La investigación se enfoca en la optimización energética basada en la norma ISO 50001:2018, la metodología sigue el ciclo Planear, Hacer, Verificar, Actuar, que incluyen visitas a la planta, revisión de instalaciones eléctricas, obtención de datos y análisis, se evalúa el consumo energético, índices de consumo y eficiencia física entre otras, con el objetivo de proponer mejoras para reducir costos y pérdidas, el análisis de la planta revela un consumo anual de 15,681,926 kWh, en el que la sala de bombas 1 es responsable del 70.90% del consumo, se identifica una contravención al factor de potencia, con un índice de consumo de 0.4894 kWh/m³, por lo que se recomienda estrategias para reducir el consumo de energía, y optimizar procesos para mejorar la sostenibilidad operativa y financiera. También se sugiere explorar tecnologías más eficientes y fuentes de energía renovable.

Palabras clave: optimización, energía, eficiencia, agua potable

Abstract

Efficient energy management in WWTPs is crucial for sustainability and operating costs, the current research aims to obtain an optimization, through indicators that have direct impact, in a drinking water treatment plant in Manabí, which contributes to a proposal for improving energy efficiency in the processes of the station, evaluate the state of the art on energy management systems. Characterize the operating conditions of the drinking water treatment processes, determine the economic impact generated by the incidence factors that influence energy efficiency, and identify opportunities to

establish a plan to improve energy performance. The research focuses on energy optimization based on ISO 50001:2018, the methodology follows the Plan, Do, Check, Act cycle, which include visits to the plant, review of electrical installations, data collection and analysis, energy consumption is evaluated, consumption rates and physical efficiency among others, with the aim of proposing improvements to reduce costs and losses, the analysis of the plant reveals an annual consumption of 15,681,926 kWh, in which the pump room 1 is responsible for 70.90% of the consumption, a contravention to the power factor is identified, with a consumption index of 0.4894 kWh/m³, so strategies are recommended to reduce energy consumption, and optimize processes to improve operational and financial sustainability. It is also suggested that more efficient technologies and renewable energy sources be explored.

Keywords: optimization, energy, efficiency, potable water

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons.



Cómo citar: Macías García, L. D., & Pita Cantos, L. J. (2024). Optimización energética en planta de tratamiento de agua potable de Manabí. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 5 (5), 169 – 184. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i5.2598>

INTRODUCCIÓN

Existe una interrelación entre el agua y la energía, en particular, el incremento de la población, la industrialización y las actividades agrícolas ejercen una gran influencia sobre los recursos más relevantes del mundo, el agua y los combustibles fósiles, (Bailey et al., 2020). La energía es un insumo crítico para la entrega de agua potabilizada y tiene destacada incidencia en los costos de prestación del servicio, en Estados Unidos, se considera que alrededor del 4% de la demanda de electricidad se emplea para la potabilización y distribución de agua, (Baquero-Rodríguez et al., 2018).

Los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con el agua y la energía son interdependientes, sin embargo, las métricas de desempeño asociadas a menudo son distintas, por lo que se requieren métodos y herramientas para un análisis que determinen una combinación adecuada de tecnologías y escala de inversiones, (Parkinson et al., 2018), pues el gasto energético representa el 75% de las emisiones de la Unión Europea, por lo tanto, la evolución de nuestro sistema energético es fundamental para nuestras ambiciones climáticas, que se complementarán con las contribuciones nacionales que cada estado miembro debe apoyar con el fin de lograr reducir el consumo de energía, para minimizar las emisiones y los costos energéticos, lo que ayudará a conseguir una reducción del 9% de aquí a 2030 (EUR, 2021).

Para evaluar la influencia de los programas de eficiencia energética en función de la calidad de la energía, se miden los valores para la determinación de la turbidez del agua, utilizando turbidímetros ópticos, a través de una muestra de agua, (Castrillón et al., 2015). El Banco Interamericano de Desarrollo y la Asociación Internacional del Agua, promueven proyectos como Aqua Rating a partir de indicadores de desempeño, expresado por (Baquero-Rodríguez et al., 2018), evaluación que consiste en desarrollar una plataforma informática que compara la gestión de una empresa ficticia y una perfecta, para establecer una brecha entre las dos empresas, las cuales deben irse cerrando con planes de acción (Rating, 2017), para transformar la gestión de las empresas de agua y saneamiento, evaluando su desempeño mediante el uso de estándares internacionales y auditores independiente acreditados.

Estudios anteriores han requerido un análisis más detallado de las etapas individuales de suministro de agua potable y la determinación de la energía necesaria para tratar el agua, es decir, la energía utilizada por las ETAP. El propósito de estos análisis fue evaluar y comparar la intensidad energética de las ETAP, es decir, la energía consumida por unidad de volumen (m^3) de agua potable producida (kWh/m^3). Sin embargo, varios autores determinaron que la energía requerida para tratar el agua depende de varios factores, incluyendo la calidad del agua y de los estándares de agua potable, así como la tecnología de tratamiento de agua utilizada, (Molinos-Senante & Sala-Garrido, 2019).

Diversos estudios han examinado el consumo de energía para la administración de agua potable, se llevó a cabo una revisión de la literatura y se comparó el consumo de energía de un tratamiento de agua convencional en diversos países, tales como, Australia ($0.01-0.2 kWh m^{-3}$), España ($0.11-1.5 kWh m^{-3}$), Nueva Zelanda ($0.15-0.44 kWh m^{-3}$) y Estados Unidos ($0.184-0.47 kWh m^{-3}$). Los principales consumidores de energía fueron los procesos de cloración (debido a la producción in situ de dióxido de cloro) y la coagulación, lo cual generó un 34% y un 31% del consumo total de energía operativa de las ETAP, (Bukhary et al., 2020).

La eficiencia energética es esencial para el desarrollo sostenible de los países, tiene un gran impacto tanto en la rentabilidad como en la sostenibilidad de la producción industrial, para el análisis económico se realizan varios escenarios en función de los requerimientos de agua. Se determina que gracias al uso de variadores de velocidad se logran ahorros entre el 57 y 69% (entre 1,05 y 2,11 MMUSD) y que gracias al uso del control estadístico de procesos se logran ahorros adicionales entre 2,4 y 5,3% (73 y 127 MUSD) (Andrade, 2018). El diseño original de la planta en análisis es para laborar hasta un límite de niveles de turbiedad de 1500 (NTU), al sobrepasar estos niveles obliga a detener el

tratamiento, generando paralización del proceso de potabilización hasta que los niveles de turbidez descieran, provocando desabastecimiento del líquido en la ciudad, por períodos que van generalmente a partir de 2 horas, hasta 72 horas consecutivas en el mejor de los casos, y hasta 7 días en el peor de los casos, (Macias, 2015).

Sin embargo, durante muchos años en Ecuador la gestión del agua se ha centrado en iniciativas para aumentar la oferta de la cantidad y no de su calidad (Terneus & Yanez-Moreta, 2018), alrededor del 4-6% de las necesidades de electricidad se utilizan para purificación y distribución del agua (Longo et al., 2016).

Esta investigación conlleva un interés de actualidad, debido al avance en normativas y modelos para identificar los sistemas de control y monitoreo para reducir el consumo de energía en la planta de tratamiento de agua potable, utilizando métodos de tratamiento de agua más eficientes energéticamente, para optimizar el uso de energía en los procesos, como la aireación y la sedimentación, mediante la implementación de tecnologías y realizar un análisis de la eficiencia energética de la planta de tratamiento de agua potable para identificar áreas de mejora y establecer objetivos de reducción de consumo de energía y capacitar al personal de la planta de tratamiento de agua potable en prácticas de eficiencia energética y fomentar una cultura de ahorro de energía en la organización.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en una planta de tratamiento agua potable de la provincia de Manabí, en Ecuador, se analizó distintos parámetros dentro de la instalación como, la potencia, factor de potencia, el consumo energético, el voltaje por fases, el amperaje, caudal de agua cruda y caudal de agua tratada en m³, datos que permiten un control del consumo de energía eléctrica para así obtener una propuesta para la optimización energética de la planta de tratamiento de agua potable.

El análisis se realizó durante un año de operación de la planta mediante visitas periódicas para observar el proceso de operación y el consumo de energía de los equipos, con el fin de recopilar la información de consumo y producción mensual de agua tratada. Las fases del proceso de potabilización se muestran en la figura 1.

Figura 1

Etapas de potabilización en planta de tratamiento de agua potable



La metodología de la investigación está en función de la norma ISO 50001:2018, la misma considera los aspectos PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar). El procedimiento metodológico del proceso de investigación conlleva un orden sistemático que implica visita a la planta, revisión de las instalaciones eléctricas, solicitud de información, obtención de datos de los equipos, carga instalada de equipos, verificación del sistema eléctrico, ejecución del proceso de control, análisis de la energía eléctrica consumida.

Se realizaron visitas a las instalaciones de la planta de tratamiento de agua potable para verificar la operación y el estado de las instalaciones eléctricas de los equipos de conformidad con las condiciones preestablecidas técnicamente, el consumo y costo mensual de la energía eléctrica, caracterizando los problemas existentes que permitan evaluar las condiciones de operación de los sistemas eléctricos.

Para el efecto se determinaron las horas de trabajo de cada equipo, el consumo energético en kWh, el factor de potencia y el costo de la energía por el servicio de la planta de tratamiento de agua, facturado por la empresa pública de electricidad durante los meses comprendidos del año en análisis. La zona de medición fue el patio de distribución de 0,7 MVA, en donde se ubicó el analizador de red por un periodo de 7 días para obtener una base de datos sólida.

Además, se adquirieron datos estadísticos del agua sin procesar que ingresa al sistema de captación y que es contabilizada en metros cúbico por un caudalímetro, el agua procesada disponible para el consumidor final y las pérdidas de fluido que se generan durante el proceso de la planta de tratamiento de agua potable.

Metodologías para el análisis y procesamiento de datos

Para el análisis y procesamiento de datos se utilizó el software estadístico Minitab 18 y las ecuaciones analíticas para el cálculo de los factores energéticos.

Análisis de la energía eléctrica consumida.

Para determinar la energía eléctrica consumida se consideraron las siguientes variables:

El tipo de dispositivo conectado a la fuente de alimentación.

El número de horas de operación de cada unidad y su horario.

Cálculo de la energía consumida.

Consumo de energía de los equipos del sistema de bombeo.

Este consumo está dado por la potencia demandada promedio durante las horas de operación, ecuación 1. El consumo de energía del equipo de bombeo, (C_{eb}), es el resultante de la potencia promedio (p_e) usada durante el tiempo requerido por el equipo (KW) multiplicada por el tiempo (t) de operación en horas al año (h/año).

$$C_{eb} = p_e * t \quad (1)$$

El consumo de energía total (C_{et}) del sistema de agua y saneamiento es función de las variables reflejadas en la ecuación 2, donde C_{ec} es el consumo de energía del resto de los componentes incluyendo la energía perdida de acuerdo al concepto del balance de energía (kWh).

$$C_{et} = C_{eb} + C_{ec} \quad (2)$$

Índice de consumo energético (IE)

Indicador que permite relacionar el consumo de energía con los volúmenes de agua, representa la relación entre la energía utilizada por un sistema de bombeo de agua potable para producir y distribuir el agua a la población y/o el tratamiento del agua servida, según sea el caso. Se calcula mediante la Ecuación 3, siendo V_{tag} el volumen total de agua generado o tratado en m³/año.

$$IE = \frac{C_{et}}{V_{tag}} \quad (3)$$

La energía total consumida puede determinarse a partir del historial de consumos energéticos registrados en la factura del servicio de energía, durante el periodo de tiempo dado, considerando que no más del 5% del valor facturado fue causado por los servicios administrativos, si el sistema posee datos específicos referentes a este consumo promedio pueden descontarse del valor de energía total.

Índice de pérdidas

Establecer planes de gestión energética involucra que en los procesos de planificación de la operación se establezcan planes de mejora continua que permitan la implementación de programas de reducción de pérdidas, para evaluar el cumplimiento de metas el índice de pérdidas se convierte en un excelente indicador, Ecuación 4. El Índice de pérdidas se lo obtiene mediante el volumen de agua estimado o medido (V_d) que ingresa al sistema de distribución en m³, menos el volumen de agua micro (V_m) medido en m³, más el volumen de agua (V_e) estimado para efectos de facturación (m³), dividido para el volumen de agua estimado.

$$IP = \frac{V_d - (V_m + V_e)}{V_d} * 100 \quad (4)$$

Indicador de eficiencia física (IEF)

Este indicador posibilita primordialmente detectar las pérdidas en la producción de un sistema de agua potable. El indicador de eficiencia física se calcula en porcentaje, dividiendo el volumen de agua facturada (V_{af}) para el volumen de agua potabilizada (V_{tag}) del sistema para un periodo definido según la ecuación 5.

$$IEF = \frac{Vaf}{Vtag} \quad (5)$$

En países desarrollados se pretende obtener un indicador de eficiencia física del 80% que es un valor bastante aceptable y alcanzable; sin embargo, en ciertos territorios se han logrado valores inferiores al 15%. Valores inferiores al 80% reflejan oportunidades de ahorro de agua relevantes para la organización y en la conservación de las fuentes de suministro.

Indicador de costo unitario de energía (CUE)

Representa el costo específico por unidad de energía consumida CUE, el cual depende del tipo de tarifa eléctrica contratada, el factor de carga (que refleja las horas de operación reales sobre las horas naturales) y factores que inciden en la facturación energética, tales como la penalización o bonificación por el factor de potencia de la instalación, este indicador se calcula mediante la Ecuación 6, en la cual I_{fea} es el importe de facturación eléctrica anual en \$/año de la energía y Tec es el total de energía consumida en $kWh/año$.

$$CUE = I_{fea} / Tec \quad (6)$$

RESULTADOS

Consumos energéticos de la planta de tratamiento de agua potable de Manabí

La capacidad de la estación de bombeo de agua cruda para el tratamiento de agua potable es de aproximadamente 4200 metros cúbicos por hora, que bajo condiciones de sólidos en suspensión son procesadas en las diferentes etapas para ser bombeadas al consumidor final. En la tabla 1 se muestran el gasto energético, el factor de potencia y el pago por servicio eléctrico en año de muestra analizado, los caudales de ingreso y procesamiento de agua con sus respectivas pérdidas, generados del balance de masas de los equipos medidores de caudal de marca Krohne de la empresa.

Tabla 1

Consumos energéticos de la planta de tratamiento de agua potable

Meses	Consumo energético (kW-h)	Factor de potencia	Servicio Eléctrico, \$	Agua que ingresa m3	Agua potabilizada m3	Pérdidas de agua m3
Enero	1.322.050	0.978	111.805	2.993.874	2.773.188	220.686
Febrero	1.209.430	0.979	109.369	2.757.047	2.453.863	303.184
Marzo	957.126	0.991	102.150	2.236.870	2.007.649	229.221
Abril	1.291.430	0.946	119.553	2.757.491	2.614.832	142.659
Mayo	1.371.360	0.950	120.689	2.979.228	2.771.512	207.716
Junio	1.357.250	0.950	120.689	2.853.660	2.736.284	117.376
Julio	1.384.100	0.951	120.871	2.913.924	2.764.933	148.991
Agosto	1.337.040	0.950	122.473	2.726.251	2.682.235	44.016
Septiembre	1.365.690	0.950	122.112	2.776.496	2.731.175	45.321
Octubre	1.349.030	0.945	124.430	2.908.317	2.857.612	50.705
Noviembre	1.422.250	0.944	124.948	2.781.693	2.714.965	66.728
Diciembre	1.315.170	0.945	121.031	2.740.581	2.672.769	67.812
Total	15.681.926	-	1.420.120	33.425.432	31.781.017	1.644.415

Nota: Tabla elaborada por el autor, con valores obtenidos de la empresa eléctrica CNEL EP y la empresa pública de agua potable.

Levantamiento de carga instalada y consumo de los equipos.

Se procedió a realizar el cálculo de la potencia instalada en motores, compresores, tecles, unidades de arranque, luminarias, acondicionadores de ambiente, equipos de cómputo y laboratorios más importantes de la instalación, a través de los datos de placa de los equipos e información proporcionada por los operadores. La carga total instalada en la planta de tratamiento de agua potable es 3302,48 kVA, considerando que el factor de potencia promedio es de 0,93 se establece que la potencia instalada es 3071,30 kW.

La tabla 2 muestra los resultados de la potencia instalada de los equipos eléctricos, las horas de trabajo de los equipos y el consumo energético.

Tabla 2

Resumen de índices de equipos dados por fabricantes y horas de trabajo de cada equipo energético

Descripción	Potencia total de los equipos KW	Promedio de horas de trabajo h	Consumo energético kW-h
Equipos de sistemas de bombeo	3051,51	13,977	42652,08
Equipos de Iluminación y laboratorio	12,91	6,379	82,34
Equipos de climatización	6,88	-	24,65
Totales	3071,30	-	42759,07

Nota: Tabla elaborada por el autor, con valores obtenidos de la empresa pública de agua potable.

La tabla 3 muestra los resultados de los equipos de mayor consumo de manera porcentual, índices que permitirán establecer puntos de análisis con el objetivo de optimizar los procesos.

Tabla 3

Resumen de consumo de equipos del sistema de motores y bombas

No. Bombas	Área de ubicación	Potencia, kW	Consumo, kW-h	%
5	Captación	6,6	28,6	0,07
3	Aireador	45,84	716,97	1,68
6	Filtración	6,6	13,2	0,03
1	Mezcla rápida	5,5	88	0,21
4	Decantador	23,84	384,36	0,90
15	Pre-sedimentador	59,11	118,23	0,28
13	Sala de máquinas 1	101,03	1339,94	3,14
4	Sala de bombas 1	2160	30240	70,90
4	Sala de máquinas 2	116,28	1844,06	4,32
11	Sala de bombas 2	474,82	7151,9	16,77
3	Cloración	3,3	5,5	0,01
32	Reactivos	48,56	721,30	1,69
101	Total, general	3051,51	42652,08	100,00

Nota: Tabla elaborada por el autor, con valores obtenidos de la empresa pública de agua potable.

En la tabla 4 se presentan los resultados del promedio de clientes y las recaudaciones de la empresa de agua potable en el año de análisis.

Tabla 4

Promedio de clientes y recaudación de Empresa pública de agua potable del año 2021

Meses	Clientes	Volumen de Agua, m3	
Enero	31562	836.465,65	
Febrero	29797	778.441,13	
Marzo	31917	958.659,99	
Abril	30585	835.509,61	
Mayo	30682	860.495,87	
Junio	31798	954.336,62	
Julio	31128	940.801,86	
Agosto	31519	1.073.665,58	
Septiembre	33537	1.119.327,93	
Octubre	32544	947.735,81	
Noviembre	33444	943.874,64	
Diciembre	35700	1.083.650,18	
Promedio	32.017,75	Total	11.332.964,87

Nota: Datos tomados de documentos estadísticos de (PORTOAGUA EP, 2021)

Obtención de resultados del analizador de red PQ-Box 435 II

Para analizar los valores permisibles establecidos por el Reglamento N° ARCONEL 005/18, y N° ARCONEL-053/18, para el voltaje se utilizaron límites que definen el nivel de tensión como permisible al 5%, inmune al ruido, Voltaje de oscilación V_{flk} menor que 1 (unidades), distorsión armónica THDV menor que 5% y asimetría facial para voltaje 2%. Por otro lado, el factor de potencia establecido mediante la resolución ARCERNR-009-2022 estipula que no debe ser inferior a 0,92, lo que podría generar sanciones para las empresas en fiscalización.

La tabla 5, muestra los datos técnicos para el análisis mediante el analizador de red (PQ-Box 435 II).

Tabla 5

Datos técnicos para el análisis

Capacidad kVA	Corriente primario f-n (A)	Voltaje primario (kV)	Voltaje nominal f-f 1-2(V)	Voltaje nominal f-f 2-3(V)	Voltaje nominal f-f 1-3(V)	Energía suministrada (kWh)
3750	54,35	69	69315,69	69591,06	68942,25	299863,59

Nota: Tabla elaborada por el autor, con valores obtenidos de un analizador de redes PQ-Box 435 II.

En la Tabla 6 se muestran datos de calidad energética en la planta potabilizadora de agua potable, resultados tomados mediante un analizador de redes marca PQ-Box 435 II.

Tabla 6

Estadísticos descriptivos de parámetros eléctricos

Parámetros		Valores Medidos		Valores Permitidos	Observación
		Máximo	Promedio		
Frecuencia	(Hz)	60,02	59,2	±1%	Cumple
Voltaje Vrms	L1	40917	39789	±6 %	Cumple
	L2	41139	40175	±6 %	Cumple
	L3	40994	40039	±6 %	Cumple
Distorsión Armónica	L1	1,7740	1,2698	≤ 8 Vn	Cumple
	L2	1,6880	1,1844	≤ 8 Vn	Cumple
	L3	2,1170	1,3342	≤ 8 Vn	Cumple
Fliker Vflk	L1	0,68700	0,12588	< 1	Cumple
	L2	1,38000	0,13017	< 1	Cumple
	L3	1,85400	0,13108	< 1	Cumple
Amperaje	L1	16,872	15,385	-	Cumple
	L2	16,778	15,494	-	Cumple
	L3	18,338	16,985	-	Cumple
Distorsión Armónica ATHD %	L1	1,7740	1,2698	≤ 20 %	Cumple
	L2	1,6880	1,1844	≤ 20 %	Cumple
	L3	2,1170	1,3342	≤ 20 %	Cumple
Factor de Potencia PF	L1	0,97700	0,97133	> 0.92	Cumple
	L2	0,89100	0,86485	> 0.92	No Cumple
	L3	0,96600	0,96111	> 0.92	Cumple
Desbalance de fases	Vunb %	0,24	0,52	< 2 %	Cumple
	Aunb %	3,18	16.10	< 40 %	Cumple

Nota: Tabla elaborada por el autor, con valores obtenidos de un analizador de redes PQ-Box 435 II.

Obtención de indicadores energéticos

Consumo de energía total del sistema de equipos de bombeo.

$$Ceb = pe * t / 1000 = 15.567.629,28 \text{ kWh/año}$$

$$Cet = Ceb + Cec = 15606680 \text{ kWh/año}$$

Índice de consumo energético (IE)

$$IE = \frac{Etc}{vtag} = 0.4894 \text{ kWh/m}^3$$

Indicadores de pérdidas

$$IP = \frac{vd - (vm + ve)}{vd} * 100 = 38.82 \%$$

Indicador de eficiencia física

$$EEf = \frac{Vaf}{Vap} = 0,35 = 35 \%$$

Indicador de costo unitario de energía

$$CUE = Ifea / Tec = 0.09 \$$$

DISCUSIÓN

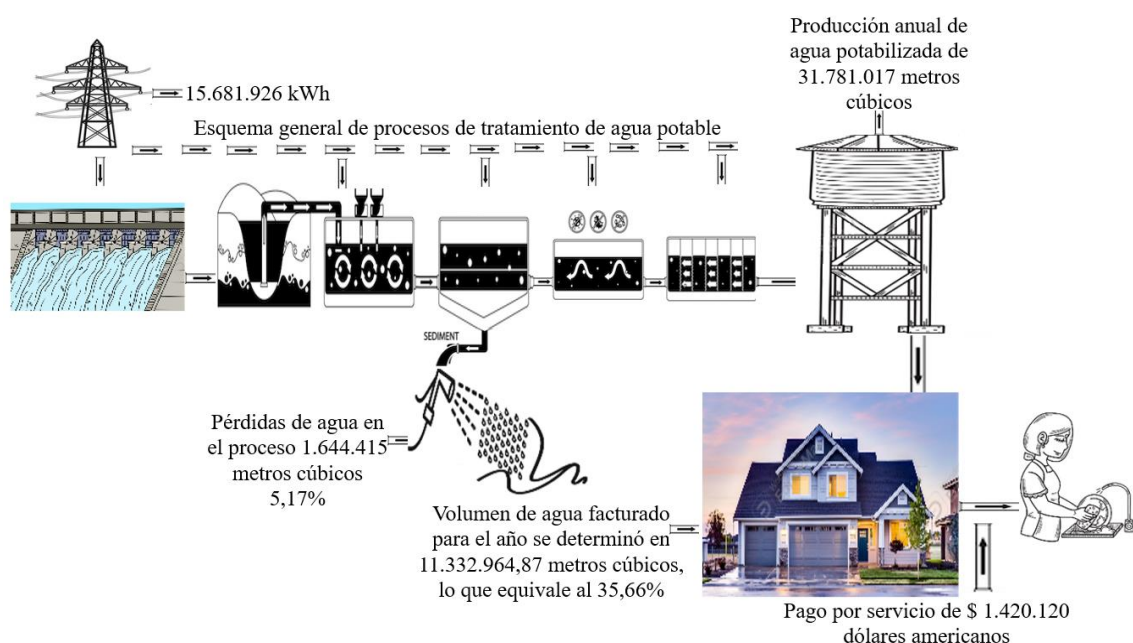
Los resultados obtenidos del planillado eléctrico, respecto al consumo energético general de la planta, arrojan un valor de 15.681.926 kWh, para una producción anual de agua potabilizada de 31.781.017

m³, con un pago por servicio de parte los usuarios de \$ 1.420.120 dólares americanos, tomando en cuenta las pérdidas de agua en el proceso 1.644.415 metros cúbicos que representan el 5,17%. Con una base de clientes promedio mensual de 32017,74 familia, con el cual el volumen de agua facturado para el año se determinó en 11.332.964,87 metros cúbicos, lo que equivale al 35,66% del agua potabilizada que llega al consumidor final del valor total, lo cual se puede apreciar en la figura 2.

Figura 2

Pérdidas y volumen de agua potable facturada de la planta de tratamiento en análisis

La potencia total instalada de la PTAP, considerando el sistema de bombeo, iluminación, laboratorio y aire acondicionado, es de 3071,3 KW con un consumo de 42759,07 kW-h/diarios, lo que muestra que el área de las bombas del cuarto 1, tiene el mayor consumo con un 70.90%, seguido del área de bombas

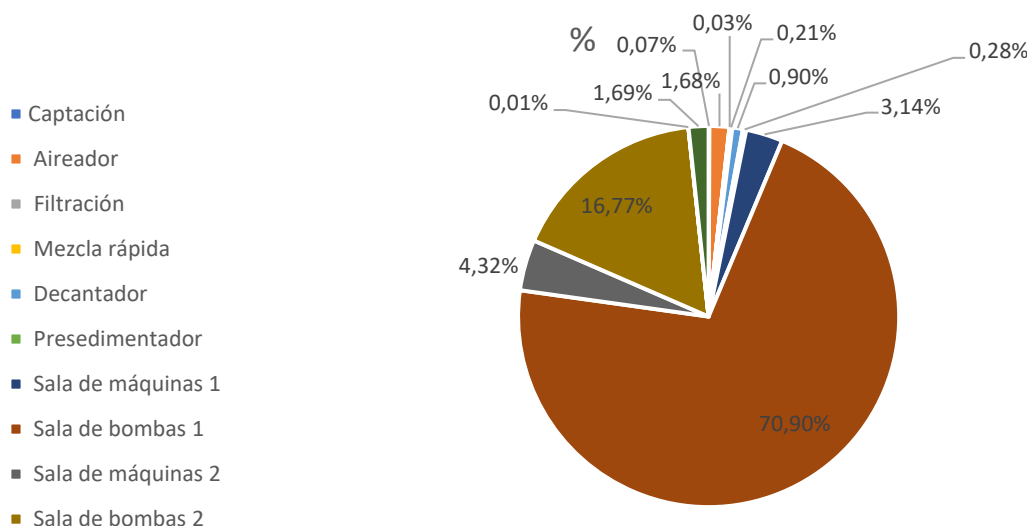


2 con un 16.77%, cuarto de máquinas 1 y 2 con un 7.46% y el área de aireadores con un 1.68%, considerados los datos más relevantes que se pueden visualizar en la Figura 4. Mientras que la resolución ARCERNR-009-2022 estipula que el factor de potencia no debe ser menor a 0.92, lo que podría generar amonestaciones para la empresa, razón por la cual luego de instalar un analizador de redes marca PQ-Box 435 II en un periodo de 7 días, bajo las condiciones de la Tabla 5 se obtuvo un resultado de factor de potencia bajo en la línea 2 con un valor de 0.89100, lo cual es una violación a la normatividad valores referenciados en la Tabla 6. de los datos estadísticos descriptivos de parámetros eléctricos.

En el gráfico 1 puede observar la distribución del consumo energético de los equipos de la planta de tratamiento de agua potable.

Gráfico 1

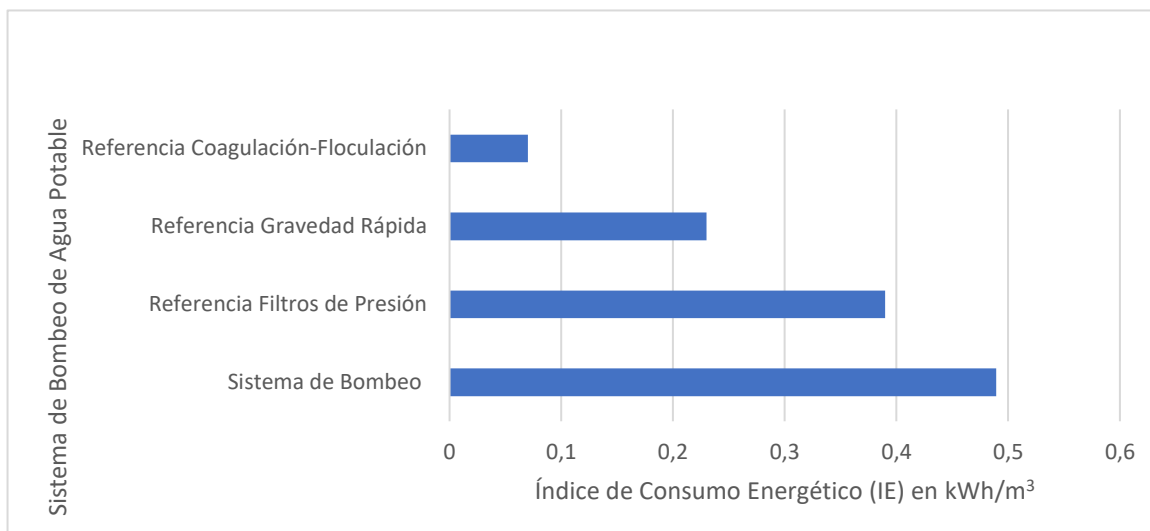
Distribución del Consumo Energético de los equipos de la PTAP



El consumo de energía de los equipos del sistema de bombeo está dado por la potencia de la demanda promedio durante las horas de operación, obteniendo como resultado 15.567.629,28 kW-h/año. Mientras que el consumo de energía total del sistema de agua y saneamiento es de 15.606.680 kWh/año. Obteniéndose un índice de consumo energético que permite relacionar el consumo de energía con los volúmenes de agua, lo que representa la relación entre la energía utilizada por un sistema de bombeo de agua potable para producir y distribuir el agua a la población y/o el tratamiento del agua servida, siendo de 0.4894 kW-h/m³. Molinos-Senante & Sala-Garrido, (2017) establece en qué medida las 179 ETAP analizadas presentan diversos factores que impactan el IE y si existen tecnologías que proporcionen economías de escala a las ETAP. Por tanto el IE de las ETAP que utilizan filtros de presión no se ve afectada por las economías de escala porque el volumen de agua tratada no es un factor significativo en el modelo con un valor de 0,39 kWh/m³, el volumen de agua tratada es el factor más importante del modelo de una instalación de tratamiento de agua que utiliza gravedad rápida con 0.23 kWh/m³, por lo que el IE de la planta está fuertemente influenciado por economías de escala, mientras que la eficiencia de remoción de contaminantes tiene un mayor impacto en el IE en las ETAP con coagulación-floculación con 0.07 kWh/m³ que en plantas sin este proceso, lo que se puede apreciar en el gráfico 2.

Gráfico 2

Índice de Consumo Energético (IE) del Sistema de Bombeo de Agua Potable



Los índices hidráulico involucran que, en los procesos de planificación de la operación se establezcan planes de mejora continua, como el índice de pérdidas el cual se convierte en un excelente indicador, que nos otorgó un 38.82 %, con una eficiencia física que posibilita detectar las pérdidas en la producción de un sistema de agua potable, el indicador de eficiencia física obtenido fue de un valor de 35 %, sin embargo por en países del exterior se pretende obtener un valor de la eficiencia física del 80 %, que es un valor bastante aceptable y alcanzable, sin embargo, en ciertos territorios se han logrado valores inferiores al 15%. Valores inferiores al 80% reflejan oportunidades de ahorro relevantes para la organización y en la conservación de las fuentes de suministro. Mientras que otro indicador como el costo unitario, que representa el costo específico por unidad de energía consumida, es cual nos da como resultado \$ 0.09/kW-h.

CONCLUSIÓN

Con base en los resultados del análisis de eficiencia energética en la PTAP, se pueden extraer las siguientes conclusiones, el consumo energético anual de la planta para tratar 31.781.017 m³ de agua es de 15.681.926 kWh, y las pérdidas de agua en el proceso son del 5,17%, lo que sugiere oportunidades para reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia del sistema y considerando el costo total del servicio de \$1.420.120, y la relación entre el costo y el consumo de energía podría optimizarse para mejorar la rentabilidad.

La zona de bombas de la sala 1 es la de mayor consumo, representando el 70,90% del consumo energético total, mientras que areas, como bombas y aireadores, esta sujeta a identificar oportunidades de mejora y reducción del consumo. El factor de potencia en la línea 2 del sistema es inferior al valor estándar de 0.92 establecido por la Resolución ARCERNNR-009-2022, se recomienda tomar medidas correctivas para mejorar el factor de potencia y cumplir con la normativa aplicable para evitar posibles sanciones.

En resumen, la planta potabilizadora enfrenta desafíos en términos de eficiencia energética, pérdidas de agua y cumplimiento regulatorio. Se recomienda implementar estrategias para reducir el consumo de energía, optimizar los procesos de tratamiento de agua y corregir desviaciones regulatorias para mejorar la sostenibilidad operativa y financiera de la instalación.

Implementar tecnologías de filtración avanzadas como la ultrafiltración y la nanofiltración, evaluar la eficiencia de diferentes tipos de medios filtrantes y membranas, optimizar la dosificación de desinfectantes para asegurar la eliminación de microorganismos patógenos, implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para controlar la calidad del agua durante todo el proceso, considerar la posibilidad de implementar tecnologías más eficientes. Explorar fuentes de energía renovables para alimentar la planta, maximice la eficiencia teniendo en cuenta la modularización y la flexibilidad del diseño para adaptarse a los cambios en la demanda de agua.

REFERENCIAS


- Andrade, R. (2018). Gestión Energética de una Estación de Bombeo mediante el uso del Control Estadístico de Procesos. Estudio de Caso: Acueducto “La Esperanza” – Refinería del Pacífico (2). 40(2), Article 2. <https://n9.cl/lko3g0>
- Andreu, P. S., Mifsut, C. L., & Abellán, M. (2012). Optimización energética en edar de la Región de Murcia. Ingeniería civil, 168, Article 168. <https://n9.cl/qia8p0>
- Bailey, J. R., Ahmad, S., & Batista, J. R. (2020). The Impact of Advanced Treatment Technologies on the Energy Use in Satellite Water Reuse Plants. Water, 12(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/w12020366>
- Baquero-Rodríguez, G. A., Lara-Borrero, J. A., Nolasco, D., & Rosso, D. (2018). A Critical Review of the Factors Affecting Modeling Oxygen Transfer by Fine-Pore Diffusers in Activated Sludge. Water Environment Research, 90(5), Article 5. <https://doi.org/doi:10.2175/106143017X15131012152988>
- Bukhary, S., Batista, J., & Ahmad, S. (2020). Design Aspects, Energy Consumption Evaluation, and Offset for Drinking Water Treatment Operation. Water, 12(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/w12061772>
- Castrillón, R., Monteagudo Yanes, J. P., Borroto Nordelo, A., & Quispe Oqueña, E. C. (2015). Línea de Base Energética en la implementación de la norma ISO 50001. Estudios de casos. <https://n9.cl/d3lic>
- EUR, L. (2021). EUR-Lex—52021DC0550—EN - EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550>
- Fernández, S. (2022, noviembre 15). OPTIMIZACION DE LOS SISTEMAS de bombeo para ahorrar energía eléctrica. [guiadepompas. https://guiadepompas.com/optimizacion-de-los-sistemas-de-bombeo-para-ahorrar-energia-electrica/](https://guiadepompas.com/optimizacion-de-los-sistemas-de-bombeo-para-ahorrar-energia-electrica/)
- Longo, S., d’Antoni, B. M., Bongards, M., Chaparro, A., Cronrath, A., Fatone, F., Lema, J. M., Mauricio-Iglesias, M., Soares, A., & Hospido, A. (2016). Monitoring and diagnosis of energy consumption in wastewater treatment plants. A state of the art and proposals for improvement. Applied energy, 179, 1251-1268. <https://n9.cl/kyk3l>
- Macias, M. (2015). Evaluación de la turbidez como indicador básico de la calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales y su efecto en el proceso de potabilización del agua en la planta de tratamiento de agua potable “cuatro esquinas” Portoviejo. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/26392>
- Molinos-Senante, M., & Guzmán, C. (2018). Benchmarking energy efficiency in drinking water treatment plants: Quantification of potential savings. Journal of Cleaner Production, 176, 417-425. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.178>
- Molinos-Senante, M., & Sala-Garrido, R. (2017). Energy intensity of treating drinking water: Understanding the influence of factors. Applied Energy, 202, 275-281. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.100>
- Molinos-Senante, M., & Sala-Garrido, R. (2019). Assessment of Energy Efficiency and Its Determinants for Drinking Water Treatment Plants Using A Double-Bootstrap Approach. Energies, 12(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/en12040765>
- Parkinson, S. C., Makowski, M., Krey, V., Sedraoui, K., Almasoud, A. H., & Djilali, N. (2018). A multi-criteria model analysis framework for assessing integrated water-energy system transformation pathways. Applied Energy, 210, 477-486. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.142>

PORTOAGUA EP. (2021). Informe de Gestión Anual. <https://portoaguas.gob.ec/wp-content/uploads/2022/02/INFORME-DE-GESTION-2021-PORTOAGUAS-EP-1.pdf>

Rating, A. (2017, marzo 30). El agua de Quito recibe certificación internacional. AquaRating. <https://aquarating.org/el-agua-de-quito-recibe-certificacion-internacional/>

Terneus, E., & Yanez-Moreta, P. (2018). Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. *La Granja*, 27(1), Article 1. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03>

Vega, M. A. V., Ávila, D. P., & Machado, A. N. (2021). Evaluación del sistema de bombeo de agua del campus Pepito Tey de la Universidad de Las Tunas. *Opuntia Brava*, 13(2), 289-302. <https://opuntiabrava.ult.edu.cu/index.php/opuntiabrava/article/view/1110>

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) .