

La importancia del monitoreo en la optimización energética de un sistema de bombeo en una unidad académica del IPN

Carlos Sánchez-Ramos ^{1,*}, Gustavo Gutiérrez-Sánchez ² y David Jiménez-Rodríguez ¹

¹ Instituto Politécnico Nacional, Centro Mexicano para la Producción más Limpia, Unidad Tabasco, Cunduacán, Tabasco, México

² Instituto Politécnico Nacional, Centro Mexicano para la Producción más Limpia, Gustavo A. Madero. Ciudad de México, México

* Autor de correspondencia: carsanchez_ime@hotmail.com; Tel.: +52 9171059402

Desarrollo Sustentable (Desarrollo de Procesos Sustentables)

Recibido: 13 de junio de 2025 Aceptado: 26 de julio de 2025 Publicado: 26 de enero de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i1.530>

Resumen: Este estudio aborda la optimización del sistema de bombeo hidroneumático en una unidad académica del Instituto Politécnico Nacional (IPN), en el marco del cumplimiento de las políticas institucionales de eficiencia energética. El estudio consistió en la realización de un diagnóstico de eficiencia energética (DEE) el cual tiene los siguientes pasos: 1. Recopilación de información preliminar, 2. Recorrido por las instalaciones y monitoreo de parámetros, 3. Análisis de información y desarrollo de oportunidades y 4. Implementación de las oportunidades viables. El estudio de eficiencia energética reveló un alto consumo energético (66,640 kWh/año) debido a fallas operativas, como encendidos y apagados frecuentes, que afectaban la vida útil de las bombas. Se identificaron causas principales, como un tanque hidráulico dañado y fugas en el sistema, además de la falta de monitoreo continuo de los parámetros de funcionamiento. Se implementaron mejoras, como la reparación de fugas, el mantenimiento de las bombas y la optimización del ciclo de trabajo. El monitoreo de parámetros posteriores indicó una significativa disminución del consumo eléctrico, de 66,640 kWh/año a 3,875 kWh/año, lo que representa una reducción del 94.2%. El estudio concluye que la implementación de un sistema de monitoreo continuo es esencial para detectar desviaciones operativas tempranas, optimizar el consumo energético y extender la vida útil de los equipos.

Palabras clave: Sistema de bombeo, Ahorro de energía, Diagnostico energético, Mediciones eléctricas

The importance of monitoring in the energy optimization of a pumping system in academic unit of the IPN

Abstract: This study addresses the optimization of the hydropneumatic pumping system at an academic unit of the National Polytechnic Institute (IPN) within the framework of compliance with institutional energy efficiency policies. The study consisted of an energy efficiency assessment (EEA), which included the following steps: 1. Preliminary information gathering, 2. Facility tour and parameter monitoring, 3. Data analysis, and development of opportunities, as well as 4. The implementation of viable opportunities. The energy efficiency study revealed high energy consumption (66,640 kWh/year) due to operational failures, such as frequent switching on and off, which affected the lifespan of the pumps. Root causes were identified, including a damaged hydraulic tank and leaks in the system, in addition to a lack of continuous monitoring of operating parameters. Improvements were implemented, such as leak repair, pump maintenance, and duty cycle optimization. Monitoring of subsequent parameters indicated a significant decrease in electricity consumption, from 66,640 kWh/year to 3,875 kWh/year, representing a 94.2% reduction. The study concludes that implementing a continuous monitoring system is essential to detect operational deviations early, optimizing energy consumption, and extending the lifespan of the equipment.

Keywords: Pumping system, Energy saving, Energy diagnostics, Electrical measurements

Introducción

La sostenibilidad implica un enfoque integral que considera los aspectos ambientales, sociales y el desarrollo económico, una forma de mejorar la sostenibilidad de una empresa u organización es incrementar la eficiencia energética de sus equipos, sistemas y procesos productivos. La eficiencia energética es una medida fundamental para potenciar el desarrollo económico en las empresas a través de instalaciones más eficientes (Funseam, 2020). Una de las principales maneras de ahorrar energía es a través de las prácticas aplicadas en el día a día en la forma de operación y uso de equipos. La energía es algo que se puede gestionar, al hacerlo, se obtiene reducción de costos y el incremento de la competitividad (CONUEE/GIZ, 2016).

Numerosos factores pueden causar que un motor eléctrico falle, vibre o se sobrecaliente, como puede ser la lubricación, la alineación, la calidad de la energía, la ventilación y la carga (Goundar et al., 2015). El ciclo de vida de un motor eléctrico, en condiciones normales, se estima entre 15 y 20 años, aunque este período puede extenderse con un mantenimiento adecuado. Un mantenimiento eficiente no solo prolonga la vida útil de los motores, sino que también reduce el consumo energético, lo que es crucial en un mundo que busca optimizar los recursos energéticos y mitigar el impacto ambiental.

Un conjunto de mediciones y monitoreo de parámetros: eléctricos, térmicos, vibraciones y condiciones ambientales, puede ayudar a personal capacitado a realizar tareas de mantenimiento predictivo y preventivo (Ganga & Ramachandran, 2018), mejorando la "salud" de los sistemas electromotrices y reduciendo el consumo energético.

La eficiencia de la bomba centrífuga es un elemento determinante en la eficiencia del sistema de bombeo. Por lo tanto, una forma de mejorar la eficiencia energética es dimensionar óptimamente la instalación, buscando operar la bomba centrífuga en la región de máxima eficiencia, también conocida como Punto de Máxima Eficiencia (BEP-Best Efficiency Point en inglés) (Carravetta et al., 2020). Las principales causas de pérdida de energía en los sistemas de bombeo son el diseño incorrecto de la instalación de bombeo, la selección incorrecta de bombas para la instalación, la falta de modernización, el diseño hidráulico incorrecto de la instalación y las pérdidas en los equipos de regulación (Zimoch & Szymik-Gralewska, 2014).

Aproximadamente la mitad de las pérdidas de energía en los sistemas de bombeo, se deben a factores como el envejecimiento del sistema y al mal uso de este. En muchos casos, la bomba centrífuga se utiliza con cargas bajas o medias, a pesar de tener valores de eficiencia más altos con cargas cercanas a la nominal (Wong et al., 2014).

La elaboración de un estudio de eficiencia energética incluye un conjunto de técnicas para determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía en los procesos y equipos consumidores de energía, y a partir de éste, se detectan oportunidades de mejora en las instalaciones eléctricas y procesos correspondientes. Es necesario, además, implementar indicadores energéticos porque permiten la evaluación y el seguimiento de la salud energética de una empresa (Bruni et al., 2021).

En el marco del Programa Institucional hacia la Sustentabilidad del Instituto Politécnico Nacional (IPN), y con los siguientes objetivos: disminuir el consumo de energía eléctrica, la reducción indirecta de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), la mitigación del impacto ambiental asociado a las actividades cotidianas de la Unidad Académica y de dar cumplimiento a lo establecido en las Disposiciones Administrativas de Carácter General en Materia de Eficiencia Energética en los Inmuebles, Flotas Vehiculares e Instalaciones Industriales de la Administración Pública Federal, emitidas por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) (CONUEE, 2025). Este trabajo aborda la implementación de la metodología de la CONUEE para realizar un diagnóstico eficiencia energética (DEE) (Rosas, 2014), basada principalmente en el monitoreo de parámetros eléctricos y la identificación de áreas de oportunidad, en una unidad académica del Instituto Politécnico Nacional (IPN), dando prioridad al sistema de bombeo hidroneumático que presentaba problemáticas operativas, contribuyendo de esta manera al desarrollo de procesos sustentables dentro de las instalaciones del IPN.

Materiales y Métodos

El monitoreo de parámetros eléctricos del sistema de bombeo estudiado se llevó a cabo dentro del diagnóstico de eficiencia energética y se utilizó la metodología para estudios energéticos en sistemas de bombeo de agua de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) (Rosas, 2014). Aunque la metodología de CONUEE fue diseñada para sistemas de bombeo de organismos operadores de agua potable, ésta se puede aplicar para el estudio de un sistema de bombeo de agua de uso particular, ya que se evalúan sistemas de bombeo sin importar el tamaño o dimensión de los equipos. A continuación, se describen los pasos utilizados para el diagnóstico de eficiencia energética (ver Figura 1):

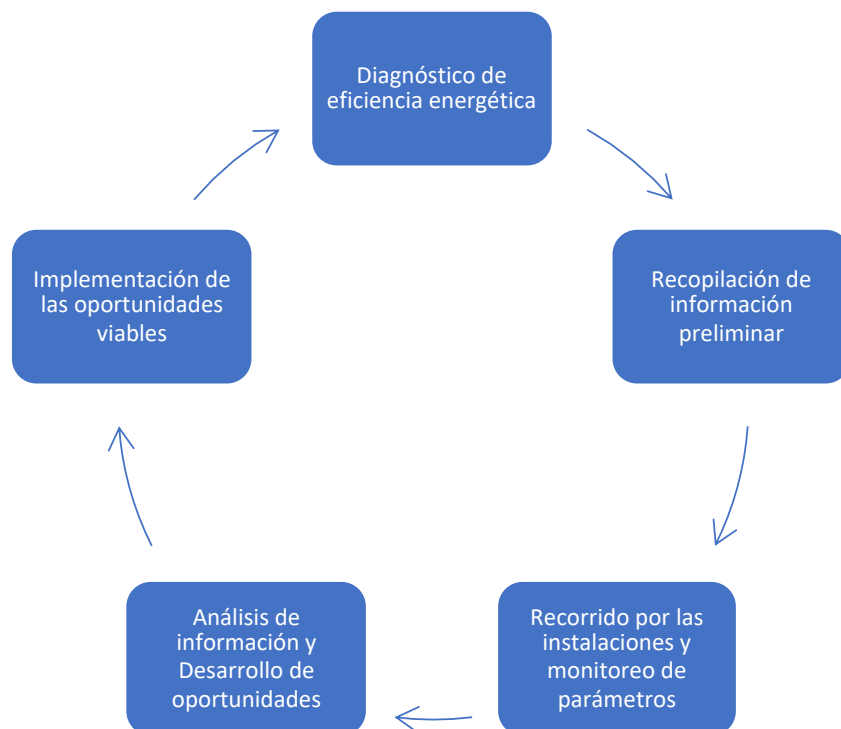


Figura 1. Metodología de un diagnóstico de eficiencia energética

1. Recopilación de información preliminar

En la recopilación de datos la principal estrategia es el análisis de los principales factores y equipos que consumen energía eléctrica de las instalaciones a evaluar. Se recopila información de las instalaciones: factura y/o recibos de consumos de electricidad, registros de los volúmenes de agua (en caso de estar disponibles). Adicionalmente, se solicitó información general, tal como: número de empleados, turnos de trabajo y días de operación al año. Se solicitaron las especificaciones técnicas de los sistemas tal como: tipo de tecnología, antigüedad promedio, capacidad, potencias, formas y tiempos de operación. Con la información anterior, se procedió a identificar preliminarmente las áreas de oportunidad de ahorro de energía; asimismo, se preparó un plan de trabajo para visitar las instalaciones y recolectar información adicional de los sistemas de mayor consumo de energía. En este paso se obtuvo información preliminar de las siguientes instalaciones y/o equipos: sistema de bombeo, laboratorios de cómputo, sistema de aire acondicionado, área de cafetería, iluminación, misceláneos (electrodomésticos, equipos de oficina).

2. Recorrido por las instalaciones y monitoreo de parámetros o mediciones (trabajos en campo)

Durante las visitas se realizaron recorridos para inspeccionar los siguientes sistemas y/o equipos: sistema de bombeo, sistema de iluminación, sistema de aire acondicionado y equipos de cómputo, obtener la información e identificar áreas de oportunidad. En la Tabla 1 se muestran los equipos que se utilizaron para realizar mediciones:

Tabla 1. Equipos de medición utilizados

No.	Equipo	Marca y modelo
1	Analizador de redes y calidad de la energía trifásico	FLUKE, modelo 434II
2	Amperímetro de gancho	EXTECH modelo MA-410
3	Termómetro infrarrojo	FLUKE modelo 62 MAX+
4	Termómetro Digital de contacto	TES modelo 1300

A partir de los datos obtenidos se realizan los cálculos energéticos y se determina el comportamiento del sistema.

Se realizaron mediciones en el interruptor general del sistema de bombeo, con la finalidad de identificar el perfil de carga de la instalación, la calidad de suministro eléctrico, consumo de energía, factor de potencia, entre otras variables eléctricas, para ello se utilizó el analizador de redes y calidad de la energía trifásico, a través de este equipo se obtuvieron datos como: voltaje de alimentación, corriente eléctrica, factor de potencia y demanda de energía. El periodo de tiempo de la medición continua al sistema de bombeo fue de una semana completa, en el caso de la gráfica mostrada en la Figura 4 un día se divide 5 secciones de 4.8 horas, mientras que en la gráfica de la Figura 5 un día lo forma 1 sección de 24 horas.

3. Análisis de información y Desarrollo de oportunidades (trabajos de gabinete)

En esta etapa se analizó la información obtenida del monitoreo de parámetros del sistema de bombeo, de esta forma se analizó el comportamiento de la demanda de energía eléctrica y se obtuvo el consumo de energía actual del sistema de bombeo, con base en la información recopilada en el trabajo en campo y el monitoreo de parámetros del sistema de bombeo se identificaron algunas áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia energética del sistema.

4. Implementación de las oportunidades viables

En esta etapa se aplicaron las oportunidades o medidas seleccionadas por la empresa (en este caso el IPN) de acuerdo con la viabilidad. Después de la implementación fue necesario realizar nuevamente el monitoreo de parámetros (demanda y consumo de energía) para comprobar el desempeño energético de las oportunidades.

Sistema de bombeo (hidroneumático)

El sistema hidroneumático de la Unidad Académica abastece de agua a partir de una toma de suministro conectada a la red de distribución de agua potable de la Ciudad de México (CDMX). Adicionalmente, se reciben aportaciones de agua reciclada y agua potable mediante pipas; sin embargo, estas fuentes complementarias no representan una influencia significativa en el comportamiento energético del sistema en estudio.

El sistema está compuesto por tres bombas de 5 HP cada una (ver Figura 2), que operan de forma alternada, pero con posibilidad de funcionamiento simultáneo. Habitualmente, dos bombas trabajan en conjunto mientras una permanece en reposo.



Figura 2. Sistema Hidroneumático de la Unidad Académica

Características operativas del sistema de bombeo

El sistema de bombeo opera con una presión de arranque de 30 psi y una presión de paro de 44 psi en el conjunto de bombas. El tiempo de operación del sistema entre lunes y viernes es considerablemente mayor en comparación con los fines de semana, lo cual responde a la intensidad de uso del inmueble.

Resultados y Discusión

Consumo de energía en la Unidad Académica

De acuerdo con el monitoreo de parámetros eléctricos realizado con el equipo analizador de redes y calidad de la energía trifásico y el levantamiento de datos en la Unidad Académica se obtuvo la siguiente distribución del consumo de energía (ver Figura 3):

El consumo total anual de la Unidad Académica de acuerdo con el monitoreo es 711,894 kWh. Este consumo se encuentra distribuido entre los diversos sistemas eléctricos de la unidad, mientras que el consumo del sistema de bombeo es 66,640 kWh de acuerdo con el monitoreo del sistema.

En el caso del sistema de bombeo hidroneumático de la Unidad Académica se obtuvo una demanda promedio diaria de 13.31 kW durante los días hábiles y los sábados, mientras que los domingos se registró una demanda media de 11.16 kW (ver Figura 4).

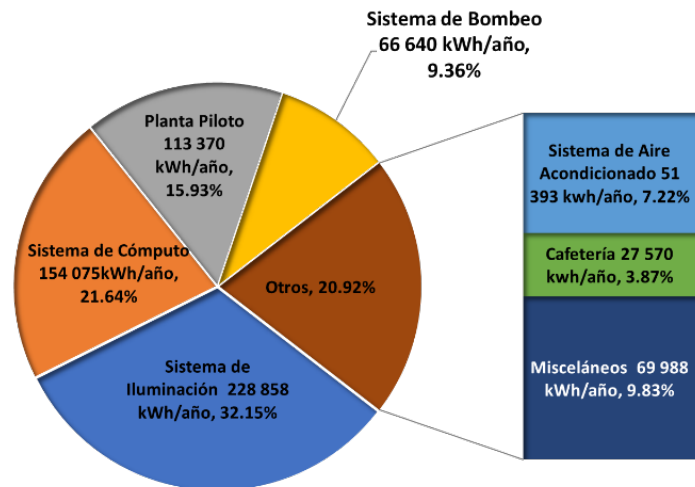


Figura 3. Consumo de la energía eléctrica de la Unidad Académica

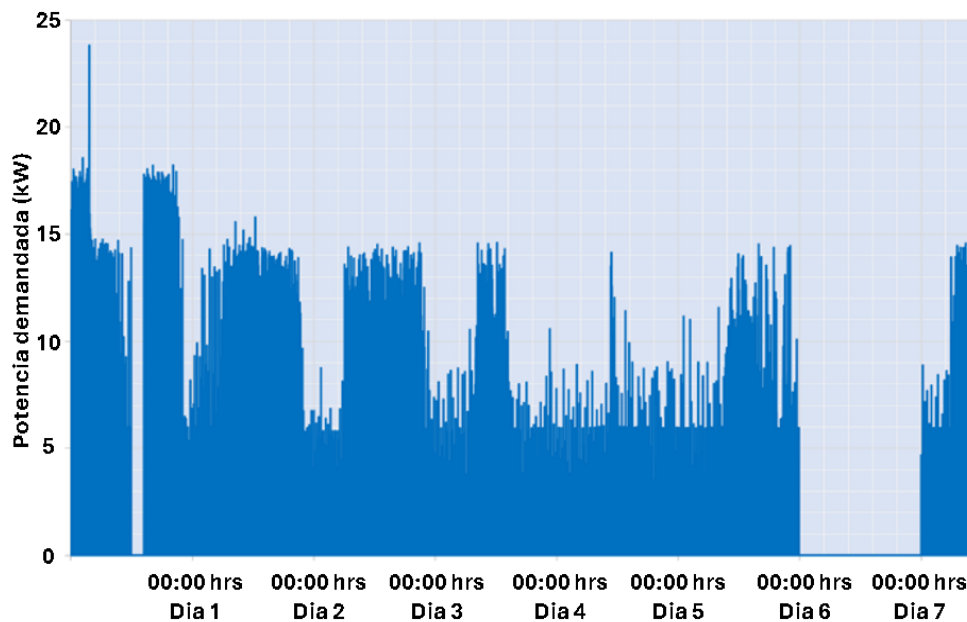


Figura 4. Demanda de energía eléctrica del sistema de bombeo de la Unidad Académica en Kilowatts (kW)

Adicionalmente, se identificó un comportamiento operativo cíclico anómalo en el régimen de trabajo de las bombas, ya que las bombas presentan intervalos de encendido y apagado de aproximadamente 30 y 60 segundos, respectivamente. Este patrón implica un número elevado de arranques y paros, lo cual impacta negativamente en la eficiencia operativa del sistema y reduce significativamente la vida útil de los equipos. Lo cual sugiere un mal ajuste en los controles de presión y demanda

Por otro lado, la temperatura de operación de las bombas no supera los 35 °C, lo que indica que, desde el punto de vista térmico, no existe un riesgo inmediato de sobrecalentamiento.

Diagnóstico del sistema

Con base en las mediciones realizadas y las observaciones en campo, se formularon las siguientes hipótesis respecto al comportamiento del sistema de bombeo:

1. Durante los días hábiles, especialmente en el horario de mayor actividad (de 06:00 a 23:00 h), el sistema presenta un funcionamiento intermitente continuo. Este comportamiento sugiere que el tanque presurizado podría estar dañado o presentar una falla funcional, impidiendo que se mantenga la presión requerida. En consecuencia, las bombas operan directamente bajo la demanda del usuario, lo que genera un desgaste prematuro y un uso ineficiente de la energía.
2. Durante los días inhábiles, se observa un funcionamiento intermitente más espaciado. Esto permite inferir la posible existencia de fugas en la red hidráulica, las cuales ocasionan pérdidas de agua, incrementan el consumo energético y reducen la vida útil del sistema.

Este conjunto de anomalías plantea una interrogante fundamental: ¿por qué se permitió que estas condiciones operativas persistieran hasta alcanzar el estado actual? La causa principal parece ser la ausencia de un monitoreo sistemático y la falta de registros históricos del comportamiento del sistema hidráulico. La implementación de un sistema de alertas tempranas para detectar desviaciones en la operación de bombas o motores podría haber contribuido significativamente a la detección oportuna de estos problemas.

Modificación del sistema hidráulico de la Unidad Académica

La Unidad Académica implementó las siguientes oportunidades en el sistema de bombeo:

- Reparación de fugas visibles en la red hidráulica.
- Mantenimiento preventivo y correctivo al tanque hidráulico y al compresor, ajustando su ciclo de trabajo dentro del rango de 2.3 a 2.8 kg/cm².
- Revisión y ajuste del tablero de control del sistema.
- Servicio integral a las bombas que conforman el sistema.

Comprobación de resultados mediante monitoreo de parámetros eléctricos

Como parte del análisis, se realizaron nuevamente mediciones eléctricas continuas utilizando un analizador de redes instalado en el interruptor termomagnético del sistema hidroneumático. A partir de los registros obtenidos, se identificaron los siguientes parámetros operativos y de consumo energético, como se muestra en la Figura 5.

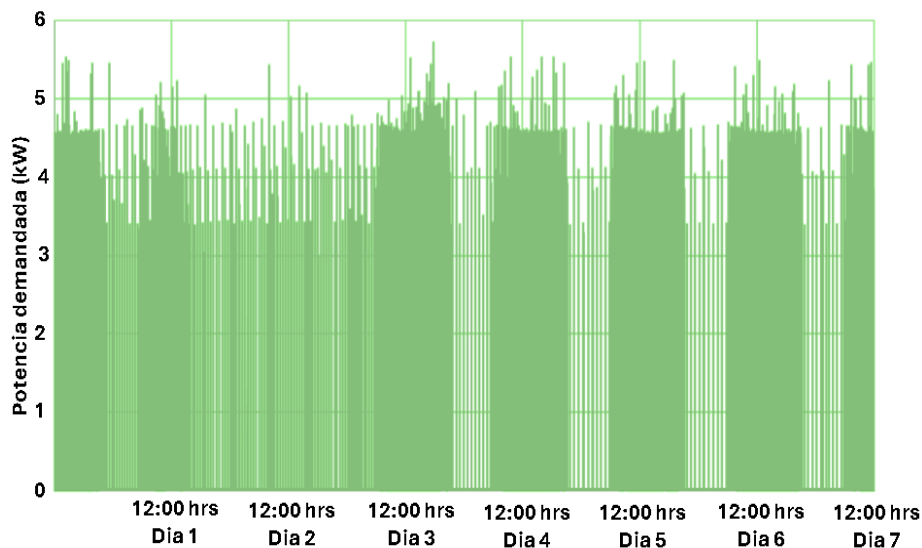


Figura 5. Demanda de energía eléctrica del sistema de bombeo después de implementar oportunidades de mejora

- Demanda promedio en día hábil: 3.66 kW, con un tiempo de operación de 4 horas diarias de manera alternada.
- Demanda promedio en sábado: 3.62 kW, con 1.5 horas de operación.
- Demanda promedio en domingo: 3.67 kW, con 1 hora de operación.
- Días inhábiles (vacaciones y días festivos): 3.61 kW, también con 1 hora de operación.

La variación en los tiempos de trabajo del sistema hidroneumático se encuentra directamente relacionada con la presencia de usuarios en la Unidad Académica. Como era de esperarse, de lunes a viernes el sistema opera de manera regular debido a las actividades académicas, mientras que durante los fines de semana y días inhábiles la frecuencia de operación disminuye significativamente.

Durante el diagnóstico de eficiencia energética, se identificó que el sistema de bombeo hidroneumático tenía un consumo anual de 66,640 kWh, y una demanda eléctrica promedio de 12.7 kW, esto indica que el sistema operaba en su totalidad, las 3 bombas funcionaban al mismo tiempo para lograr mantener el suministro de agua. El indicador de demanda eléctrica promedio medida (12.7 kW) por potencia disponible del sistema (15 HP) era 0.8 kW/HP, lo que indica que el sistema operaba a la potencia nominal.

Tras las acciones correctivas implementadas, incluyendo: el mantenimiento al tanque hidráulico, la reparación de fugas y la reconfiguración del sistema de control, el consumo medido es equivalente a 3,875 kWh/año, lo cual representa una disminución del 94.2 %, es decir, un ahorro de 62,765 kWh/año respecto al valor inicial (ver Figura 6).

En cuanto a la demanda de energía eléctrica, se tuvo una reducción de 9 kW, ya que el sistema actualmente funciona a cargas parciales requiriendo que 1 o máximo 2 bombas funcionen de manera simultánea. Estas acciones han impactado de manera positiva en la facturación de energía eléctrica, obteniendo ahorros en los conceptos de consumo de energía y demanda facturable, además que la subestación de la unidad académica tendrá esa cantidad de potencia disponible para suplir otras necesidades u operar en un punto más optimo.

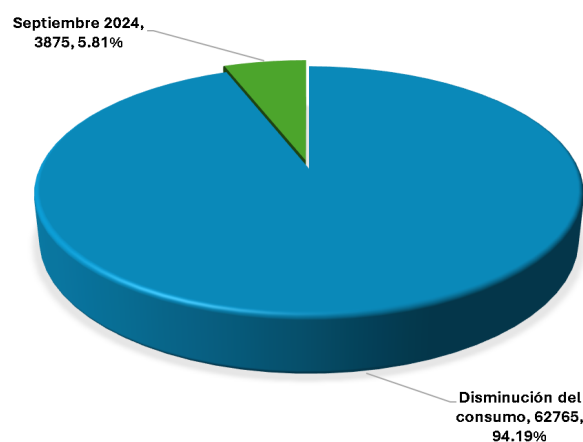


Figura 6. Disminución del Consumo por la implementación de oportunidades viables

Con la implementación de las oportunidades se tiene un indicador de demanda eléctrica (3.7 kW) por potencia disponible del sistema (10 HP) de 0.37 kW/HP, de acuerdo con datos de literatura consultada (Da Gama et al., 2017) un sistema de bombeo normalmente opera con un indicador de 0.65 kW/HP.

Este resultado evidencia que el sistema presentaba deficiencias operativas importantes, asociadas principalmente a la falta de monitoreo y registro sistemático de parámetros como presión, frecuencia de arranques/paros, demanda energética y volumen de agua suministrado. Esta ausencia de datos dificultó la detección oportuna de fallas y contribuyó al deterioro del rendimiento energético. El sistema actualmente opera a carga parcial, por lo que no trabaja a la máxima potencia sino que la regula dependiendo la demanda de agua, manteniendo una presión constante, reduciendo el funcionamiento continuo a máxima potencia que tenía el sistema debido a problemas de fugas, presión incorrecta y tanque presurizado dañado, operando a una mayor eficiencia por tanto esto se traduce en ahorros energéticos considerables tanto en demanda como en consumo de energía eléctrica.

Conclusiones

El sistema de bombeo hidroneumático de la Unidad Académica del IPN ha experimentado una mejora significativa en su eficiencia energética gracias a las acciones correctivas (oportunidades viables) implementadas, mediante el monitoreo de los parámetros eléctricos del sistema de bombeo se logró comprobar que existe una optimización energética en la operatividad del sistema de bombeo. Sin embargo, para mantener y potenciar estos logros, es fundamental implementar un sistema de monitoreo continuo de los parámetros de funcionamiento, que sea asequible, de bajo costo y fácil de usar. Un sistema de monitoreo de parámetros permitirá la detección temprana de desviaciones

que pueden comprometer tanto la eficiencia energética como la vida útil de los equipos, identificar fallas antes de que se conviertan en problemas mayores, optimizar la operación del sistema de bombeo ajustándola a las necesidades reales de consumo, reducir el desperdicio energético y minimizar los costos operativos, garantizando un uso más eficiente de los recursos. Implementar estas tecnologías será crucial no solo para mejorar el rendimiento de este sistema en particular, sino también para promover prácticas de sostenibilidad energética en otras instalaciones del IPN, contribuyendo al cumplimiento de los compromisos institucionales con la eficiencia energética y el desarrollo sustentable.

Agradecimientos y financiamiento: Al Instituto Politécnico Nacional por apoyar con el financiamiento mediante el proyecto interno SIP 20250293, denominado: “Equipo de Medición y Monitoreo de Motores Eléctricos: Eficiencia Energética y Mantenimiento Predictivo” y al Ing. Martín Vargas Angeles, por contribuir con el monitoreo y el análisis de parámetros en el sistema de bombeo.

Bibliografía

- Bruni, G., De Santis, A., Herce, C., Leto, L., Martini, C., Martini, F., & Toro, C. (2021). From energy audit to energy performance indicators (EnPI): A methodology to characterize productive sectors. The Italian cement industry case study. *Energies*, *14*(24), 8436. <https://doi.org/10.3390/en14248436>
- Carravetta, A., Giugni, M., & Malavasi, S. (2020). Application of innovative technologies for active control and energy efficiency in water supply systems. *Water*, *12*(11), 3278. <https://doi.org/10.3390/w12113278>
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). (2025). *Disposiciones administrativas de carácter general en materia de eficiencia energética en los inmuebles, flotas vehiculares e instalaciones industriales de la Administración Pública Federal 2025*. Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Gobernación.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (2016). *Manual para la implementación de un sistema de gestión de la energía*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/223430/ManualGestionEnergia_2016.pdf
- Da Gama, A., Pimentel, A., & Rodrigues, J. (2017). Assessment of water pumping system and improvement in hydro-energetic performance. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, *11*(1), 42–50. <https://doi.org/10.4090/juee.2017.v11n1.042050>
- Funseam. (2020). *Eficiencia energética y transición ecológica*. Simposio empresarial internacional. Civitas.
- Ganga, D., & Ramachandran, V. (2018). IoT-based vibration analytics of electrical machines. *IEEE Internet of Things Journal*, *5*(6), 4538–4549. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2835724>
- Goundar, S., Pillai, M., Mamun, K., Islam, F., & Deo, R. (2015). Real time condition monitoring system for industrial motors. En *Proceedings of the 2nd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering* (pp. 1–9). <https://doi.org/10.1109/APWCCSE.2015.7476232>
- Rosas, R. (2014). *Guía para realizar diagnósticos energéticos y evaluar medidas de ahorro en equipos de bombeo de agua de organismos operadores de agua potable*. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/268483/Gu_a_para_realizar_diagn_sticos_energ_ticos_y_evaluar_medidas_de_a_horro.pdf
- Wong, L. T., Mui, K. W., Lau, C. P., & Zhou, Y. (2014). Pump efficiency of water supply systems in buildings of Hong Kong. *Energy Procedia*, *61*, 335–338. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.1119>
- Zimoch, I., & Szymik-Gralewska, J. E. (2014). Risk assessment methods of a water supply system in terms of reliability and operation cost. *WIT Transactions on the Built Environment*, *139*, 51–62. <https://doi.org/10.2495/UW140051>