

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA TIPO SCADA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA GLOBAL DE EQUIPAMIENTO DE UNA PTAR

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A SCADA TYPE SYSTEM TO IMPROVE THE OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY OF A WWTP

Ochoa Espinoza Valente

Tecnológico Nacional de México/ I.T. De Los Mochis
<https://orcid.org/0009-0005-6163-962X>
valente.oe@mochis.tecnm.mx

Gutiérrez Cerecer Francisco Antonio

Tecnológico Nacional de México/ I.T. De Los Mochis
<https://orcid.org/0009-0005-3555-2758>
antonio.guce@gmail.com

Miranda Arnold Juan Andrés

Tecnológico Nacional de México/ I.T. De Los Mochis
<https://orcid.org/0009-0003-7597-4248>
juan.ma@mochis.tecnm.mx

Ruiz Ibarra Jesús Iván

Tecnológico Nacional de México/ I.T. De Los Mochis
<https://orcid.org/0000-0001-8800-9314>
jesus.ri@mochis.tecnm.mx

Ramírez Leyva Alberto

Tecnológico Nacional de México/ I.T. De Los Mochis
<https://orcid.org/0000-0002-6774-6427>
alberto.rl@mochis.tecnm.mx

DOI: <https://doi.org/10.61273/neyart.v3i1.100>

| Recibido: 15/03/2025 | Aceptado: 20/05/2024 | Publicado: 29/06/2025

Esta obra está bajo
una licencia internacional
Creative Commons Atribución 4.0.



Resumen: El presente trabajo de investigación consistió en el desarrollo e implementación de un sistema informático para el monitoreo remoto y la adquisición de datos sobre la operación de una PTAR de la empresa CLARVI, ubicada en Los Mochis, Sinaloa, México, de manera que se aprovechara tecnología de industria 4.0 previamente instalada, pero cuya información sólo podía ser visualizada en el sitio, cuyo registro se llevaba de forma manual y de la cual no se realizaba ningún tipo de análisis. La finalidad de esto fue, la creación de una herramienta tipo SCADA que ayudara en la toma de decisiones, las cuales estuvieran basadas en información cuantificable para mejorar la eficiencia global de equipamiento (OEE) en el biorreactor de la planta. Durante un período de cinco meses se monitorearon cuatro variables de calidad del agua, los tiempos de paro de la PTAR, los flujos de entrada de agua a la red de suministro y a la salida después del tratamiento, mediante el uso de PLC's y sensores especializados. Con la información obtenida se calculó el porcentaje de OEE de manera mensual, a medida que se implementaba el sistema, y luego de realizar actividades basadas en el análisis de los datos, se observó el impacto que se tenía. Finalmente, se determinó un grado de correlación muy fuerte entre la OEE y el grado de implementación del sistema. En esta investigación se obtuvieron resultados muy positivos con el uso de esta nueva herramienta, tanto cualitativos como cuantitativos, pero, sin duda, destaca el haber superado el 80% de OEE propuesto en la hipótesis hasta alcanzar un 93.56%, partiendo de un 12.94% inicial.

Palabras clave: PTAR, CLARVI, Industria 4.0, SCADA, OEE, PLC.

Abstract: The present research work consisted in the development and implementation of a computer system for remote monitoring and data acquisition on the operation of a WWTP owned by the company CLARVI, located in Los Mochis, Sinaloa, Mexico, in order to properly take advantage of the industry 4.0 technology previously installed, whose information could only be viewed on the site, whose registration was kept manually and of which no type of analysis was carried out. The purpose of this was the creation of a SCADA type tool that would help in decision making, which were based on quantifiable information to improve the overall equipment efficiency (OEE) of the plant's bioreactor. During a period of five months, four water quality variables were monitored, the WWTP shutdown times, the water input flows to the supply network and the water output after treatment, through the use of PLCs and specialized sensors. With the information obtained, the percentage of OEE was calculated on a monthly basis, as the system was implemented, and after carrying out activities based on the analysis of the data, the impact

was observed. Finally, a very strong degree of correlation was determined between the OEE and the degree of system implementation. In this research, very positive results were obtained with the use of this new tool, both qualitative and quantitative, but, without a doubt, it stands out to have exceeded the 80% OEE proposed in the hypothesis until reaching 93.56%, starting from an initial 12.94%.

Keywords: WWTP, CLARVI, Industry 4.0, SCADA, OEE, PLC.

INTRODUCCIÓN

Muchas veces obviamos el hecho de que, "en el agua se originó la vida y de ella sigue dependiendo" (Guerrero, 2006). Lo que no es tan evidente, desde un punto de vista productivo, social y demográfico es que, el recurso hídrico "... además es indispensable para todos los sistemas de producción, lo cual condiciona los distintos aspectos del desarrollo social" (Huaquisto & Chambilla, 2019). Ese desarrollo promueve el crecimiento y la concentración demográfica, mayor demanda y contaminación del agua. De acuerdo con datos de la ONU, alcanzaríamos los 8000 millones de personas a nivel mundial para mediados de noviembre de 2022 (ONU-Hábitat & OMS, 2021).

Para aliviar las problemáticas que esta sobrepoblación ocasiona en cuanto a contaminación ambiental por aguas residuales de las urbanizaciones e industria, prevenir problemas de salubridad (Calderón & Arteaga, 2019) y fomentar el reúso del agua, es que se construyen las PTAR, sin embargo, estas instalaciones enfrentan diversos retos de orden técnico, organizativo, social y económico (Martínez et al., 2016), para los cuales, algunos autores proponen como solución la descentralización y que su construcción se haga en menor escala (Lahera, 2010). Para que esto sea práctico y viable a futuro será necesario contar con alguna forma de monitoreo y control remoto en tiempo real de varias plantas a la vez, lo que supone la implementación de un sistema SCADA.

Algunos de los desafíos presentados en la PTAR "Descarga Cero" de la empresa CLARVI eran: su monitoreo, el cual se realizaba de forma exclusivamente presencial; la información generada se registraba de forma manual en bitácoras de papel; y los datos no recibían ningún tipo de análisis posterior. Con el diseño, desarrollo e implementación de un sistema tipo SCADA se buscó resolver la situación anterior, proporcionar una herramienta que ayudara en la toma de decisiones con relación a la operación de la planta y de paso medir el impacto que tenía su implementación en la eficiencia global de equipamiento (OEE).

DESARROLLO

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se utilizaron herramientas de software y de hardware, que incluyen, lo que podría considerarse como convencional: servidores, aplicaciones, lenguajes de programación, redes, protocolos, etc., además de sus vertientes industriales como: PLC's y sensores especializados (caudalímetros, pHmetros, oxímetros, conductímetros y sensores de sólidos suspendidos). Utilizado todo en conjunto para diseñar e implementar la herramienta tipo SCADA, a través de la cual se pudiera recopilar, almacenar y analizar la información muestreada, y con esto, el operador y/o supervisor pudieran tomar las mejores decisiones en cuanto a la operación de la planta, basadas en información cuantificable.

Durante un período de ocho meses que comprende desde finales de marzo de 2023 hasta principios de diciembre del mismo año, se realizaron diversas actividades como: la investigación y pruebas iniciales para el desarrollo del software; el desarrollo de los distintos módulos del sistema; la implementación, corrección de errores y mejoras del sistema informático; el muestreo, almacenamiento e interpretación de los datos; la aplicación de mejoras y la adopción de mejores prácticas.

Participó (directa e indirectamente) un equipo interdisciplinario, que involucró a distintas áreas de la empresa CLARVI, entre las que destacan: la Alta Dirección, Compras, Seguridad, Mantenimiento, Innovación y Desarrollo, Comercialización, Servicios Técnicos, Ingeniería, Producción y Sistemas; gracias al cual, se lograron cumplir los objetivos planteados y obtener el resultado numérico esperado, el cual se propuso como un 80% de OEE mínimo.

Metodología.

Esta investigación constó de seis etapas:

- (1) Investigación, desarrollo y pruebas iniciales de monitoreo.
- (2) Monitoreo de entrada de agua a la red interna de CLARVI y salida de agua tratada de la PTAR Descarga Cero.
- (3) Monitoreo de entradas, salidas del PLC y variables de calidad en PTAR.
- (4) Desarrollo de herramientas de análisis de la información.
- (5) Liberación periódica de las etapas 2, 3 y 4 al operador.
- (6) Aplicación de mejoras, ajustes hasta la conclusión del proyecto.

Para la obtención de OEE1 -nuestra medición de referencia-, fue necesario la conclusión de las primeras tres etapas y un tiempo de muestreo de un mes. Después de la primera medición y habiendo realizado avances en la etapa cuatro fue posible ejecutar las etapas cinco y seis de manera gradual para evaluar el impacto de la implementación del sistema tipo SCADA en la OEE mes tras mes. La evaluación se propuso que fuera mensual para dar tiempo para la ejecución de la etapa seis, que básicamente consiste en la aplicación de mejoras y la realización de ajustes basados en la información obtenida por el sistema.

Eficiencia Global de Equipamiento.

La eficiencia global de equipamiento (OEE por sus siglas en inglés), es un método de medición que promueve la mejora continua y que se integra por la disponibilidad del equipamiento, la eficiencia del performance o productividad, y la tasa de calidad que se logra (Belohlavek, 2006) . Esta sería la variable dependiente para este trabajo y para determinar cada variable componente de ella, se procedió de la siguiente manera:

- **Productividad.** - dado por la razón porcentual entre el volumen de agua tratada y el volumen de agua de primer uso que entró a la red de suministro. Estos volúmenes se obtuvieron muestreando el caudal de salida de la PTAR y el de entrada de agua nueva del canal de riego a la potabilizadora, respectivamente. Los caudales se almacenaron en litros por segundo (L/seg) en la base de datos, lo cual, al ser muestras tomadas cada segundo facilitó su conversión a metros cúbicos.

$$\text{Productividad} = \text{Output total} / \text{output potencial} \quad \text{Ec. (1)}$$

- **Disponibilidad.** - esta variable determinada por la razón porcentual entre el tiempo real de operación de la PTAR y el tiempo programado para trabajar, el cual, teóricamente debería ser, veinticuatro horas del día, siete días de la semana, solamente descontando tiempos de paro originados por fallos de energía eléctrica externa (o ajenas a la empresa) y paros por mantenimientos programados. En ambos casos los tiempos se almacenaron en segundos.

$$\text{Disponibilidad} = \text{Tiempo de operación disponible} / \text{tiempo de operación programado} \quad \text{Ec. (2)}$$

- **Calidad.** - para calcular esta variable se monitorearon otras cuatro: pH, sólidos suspendidos, conductividad y oxígeno disuelto. En cada caso, las primeras tres debían encontrarse dentro de sus límites para considerarse como "aceptable", mientras que, para la última, fue válido que saliera de ellos, siempre y cuando no sobrepasara (por cuestiones operativas) de una hora para el límite

superior y de dos para el inferior. Para que una muestra fuera considerada aceptable y no un rechazo, cada una de las cuatro variables debió ser aceptable, cualquiera de ellas que no lo fuera haría de esa muestra un rechazo. El monitoreo se realizó cada segundo y en automático se hizo la evaluación de la muestra. La razón porcentual entre las muestras aceptadas y el total de muestras en un intervalo de tiempo fue el indicador de calidad.

$$\text{Calidad} = \text{Producción de calidad producida} / \text{producción total} \quad \text{Ec. (3)}$$

Al integrar estas tres variables, tenemos que:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} * \text{Performance} * \text{Calidad} \quad \text{Ec. (4)}$$

Límites de las variables de calidad.

Es posible establecer los límites para dos de las variables de calidad de manera normativa, específicamente para pH y conductividad. Las otras dos, al ser de naturaleza operativa se obtuvieron en base a literatura especializada en el diseño y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales. A continuación, se detalla cada una de ellas:

NOM-001-SEMARNAT-2021 (SEGOB, 2022a) - Es la normatividad mexicana que "establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación". En ella se establece que, los valores límite para el pH van de 6 a 9 unidades para todos los casos de cuerpos receptores. Los límites permisibles para la PTAR Descarga Cero se establecieron de 6 a 8 unidades de pH, quedando dentro de lo que marca la normatividad.

NOM-127-SSA1-2021 (SEGOB, 2022b). - Esta norma de la Secretaría de Salud establece los límites permisibles de la calidad del agua para uso y consumo humano. En ella las especificaciones sanitarias químicas establecen un valor máximo de 1000 mg/L para sólidos disueltos totales, que aproximadamente serían 1428 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad (Hanna Instruments, s.f). Los límites determinados para la PTAR Descarga Cero van de 0 a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Parámetros Operativos. - Para procesos aerobios en continuo, los cuales están diseñados para eliminar materia orgánica, el intervalo de oxígeno disuelto al que se debe operar para mantenerlo constante, está comprendido entre 0.5 y 1.5 mg/L, sin embargo, se utilizan niveles más altos, de 2.0 mg/L cuando se quiere conseguir la nitrificación (Ramalho, 2003). Es en base a esto que, se establecieron como límites los valores de 1.5 a 2.5 mg/L.

En cuanto a la cantidad de sólidos suspendidos, los rangos típicos de operación para un proceso de aireación extendida son de 0.05 a 0.1 kg de DBO por cada kg de SSVLM en aireación y se utiliza la siguiente fórmula para calcular la relación alimento/microorganismos (F/M) para una operación adecuada del sistema, donde Q es el flujo del afluente o efluente en m³/día (Torrescano, 2009):

$$F/M = (DBO * Q) / (1000 * SSVLM) \quad \text{Ec. (5)}$$

Si despejamos y partimos de que, un agua con una DBO de 100 mg/L ya se considera moderadamente contaminada, que tenemos un caudal promedio de 10 m³/día, y la relación F/M mayor de 0.1 kg de DBO por kg de SSVLM tenemos que:

$$SSVLM = (100*10) / (1000*0.1) = 10 \text{ kg}$$

Tomando en cuenta que, los SSVLM comúnmente representan entre el 70 y 80% de los sólidos suspendidos totales, podemos decir que:

$$SSTLM = 10 / 0.7 = 14.29 \text{ kg}$$

Homogenizado en los 15 m³ de capacidad que tiene el tanque de la PTAR Descarga Cero tenemos que, el límite inferior sería:

$$14.29 \text{ kg} / 15 \text{ m}^3 = 952.66 \text{ mg} / \text{L} \approx 1000 \text{ mg} / \text{L}$$

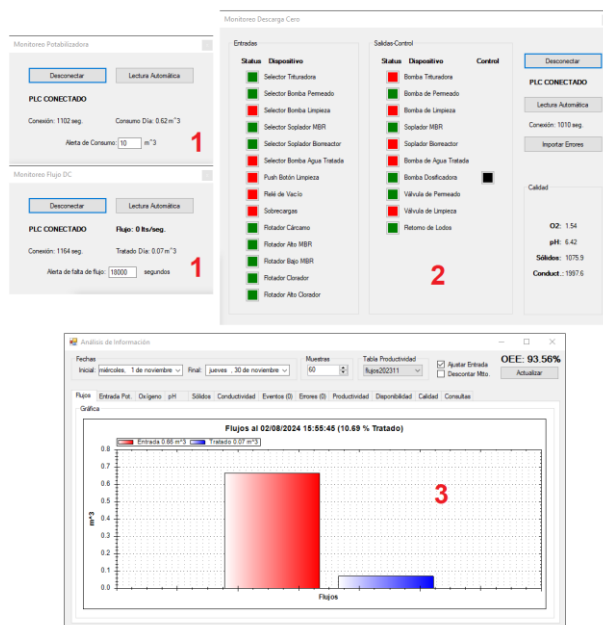
Para esta variable no se tiene un límite superior.

El sistema tipo SCADA.

El desarrollo de la herramienta se dividió en tres herramientas principales que se muestran en la Figura 1 cuya funcionalidad de cada una principal es:

1. Obtención de flujos (de entrada y salida) y volúmenes de agua, contadores, medidor de tiempos.
2. Obtención de variables de calidad y monitoreo de dispositivos (estatus) de la PTAR.
3. Monitoreo de variables de calidad y flujos en tiempo real, y análisis de información.

Figura 1. Módulos del sistema tipo SCADA.



La primera de las aplicaciones ligeramente modificada para que, en caso de estar midiendo flujos de entrada, alerte si se alcanza cierto nivel de consumo y cuando monitoree flujos de salida, lo haga si se llega a cierto tiempo sin registrar flujo.

En la segunda es posible observar un pequeño botón negro que realmente controla el encendido y apagado de una bomba dosificadora, sin embargo, como se mencionó anteriormente, la planta está programada para funcionar por tiempos y al llegar a su tiempo programado, se anularía automáticamente cualquier cambio hecho con este. Razón por la que se descartó continuar con la parte de control. Esta parte del desarrollo arroja la misma información que podría tener el operador estando frente al panel de control de la PTAR.

En cuanto a la tercera herramienta, se desarrollaron diversas gráficas para el análisis de los datos monitoreados, tanto en tiempo real como por períodos de tiempo específicos, lo que da una gran visibilidad sobre la operación de la planta, consumos de agua, nivel de tratamiento, calidad del tratamiento, etc. Además, en esta parte del desarrollo es donde se realiza la captura de las causas de una falla o evento en particular, así como la confirmación de los tiempos de inicio y fin de cada uno de ellos. En la siguiente figura se pueden observar algunas de las gráficas que se incluyen en este apartado.

Figura 2. Gráficas de la aplicación de análisis.



Como se estableció en la etapa 6 de la metodología, en cierto punto, la programación del sistema también se realizó, mejoró, adaptó y corrigió durante la ejecución la investigación.

Porcentaje de implementación SCADA.

Para la cuantificación de la variable independiente se optó por subdividir y valorar equitativamente cada parte del desarrollo informático conforme se va avanzando en las ramificaciones. Primeramente, se dividió el desarrollo en control y monitoreo como si fuera un SCADA completo ya que, inicialmente se pretendía que así fuera, sin embargo, por la forma en que está programada la operación de la planta (por tiempos) se omitió el control y se delimitó el proyecto al monitoreo, por eso se valoró esa parte con el 100%. Este a su vez se subdividió en análisis de datos y en la adquisición de los mismos con un 50% cada actividad. En esta última, se incluyó la ejecución de todo lo necesario para la obtención de los datos, es decir, incluyendo instalación de hardware y/o desarrollo de software. Posteriormente, se dividió cada actividad en las tres variables componentes de la OEE con un porcentaje aproximado del 16.66% cada una, para finalmente subdividirlas en desarrollos específicos de cada parte y cuantificados de la misma manera, equitativamente.

Con la ayuda de un cronograma en el que se llevó registro de las actividades más relevantes de esta investigación, se pudo determinar fácilmente la implementación porcentual mensual del sistema durante

el período que duró el muestreo, el cual abarcó los meses de julio a noviembre de 2023. La Tabla 1 a continuación, muestra los resultados para esta variable:

Tabla 1. Porcentaje de implementación mensual del sistema SCADA

Mes	% Implementación
Julio	54.16
Agosto	62.49
Septiembre	87.50
Octubre	91.66
Noviembre	100.00

Actividades de mejora.

Una vez obtenido lo mínimo necesario (referente al desarrollo informático) como para cuantificar la OEE inicial y siguiendo la metodología propuesta, fue posible liberar al operador secciones del software de manera gradual para que pudiera tomar decisiones basadas en información cuantificable y oportuna. A continuación, se listan las más significativas por variable componente:

Productividad:

- Instalación de caudalímetros analógicos en los edificios.
- Implementación de alertas por tiempo y por niveles de tratamiento.
- Detección, reparación y/o aislamiento de fugas de agua.
- Monitoreo de mantenimientos preventivos semanales.
- Instalación de tanque pulmón para la liberación de la presión sobre las membranas de la PTAR.
- La racionalización del agua nueva que entra a las instalaciones mediante el apagado de la planta potabilizadora fuera de horario laboral e implementación de un semáforo para el monitoreo del cumplimiento de este punto.

Disponibilidad:

- Alertas al celular mediante correo electrónico ante fallas o eventos:
 - Paro de bomba de permealdo
 - Sobrecarga
- Instalación de CCTV

- Capacitación personal de taller de pintura sobre el manejo de los interruptores de energía eléctrica.

Calidad:

- Mantenimiento, calibración y/o reemplazo de sensores.
- Desarrollo e implementación de herramienta para monitoreo remoto en tiempo real de las variables de calidad.
- Monitoreo periódico de la calibración de los instrumentos de medición.
- Reacondicionamiento de la conductividad.
- Compartición de manual de operación con tiempos de mantenimiento de sensores al operador.

Resultados

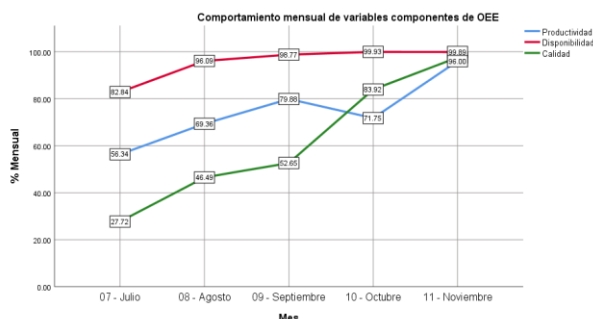
En resumen, los resultados mensuales de OEE y por cada uno de sus componentes, conforme se fue implementando el sistema y se tomaban decisiones basadas en información obtenida por el mismo -como las actividades anteriores-, fueron los siguientes:

Tabla 2. Resumen mensual de porcentajes de OEE.

Mes	Prod (%)	Disp (%)	Cal (%)	OEE (%)
Julio	56.34	82.84	27.72	12.94
Agosto	69.36	96.09	46.49	30.98
Septiembre	79.88	98.77	52.65	41.54
Octubre	71.75	99.93	83.92	60.17
Noviembre	96.00	99.89	97.57	93.56

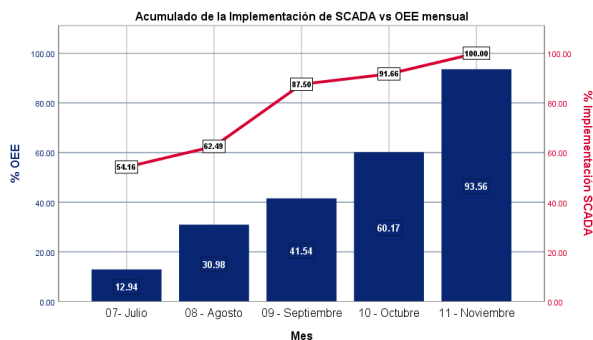
Representado gráficamente,

Figura 3. Comportamiento mensual de variables componentes de OEE



Para observar tanto el porcentaje de implementación del sistema SCADA como los cambios que se dieron en la OEE a medida que pasaba el tiempo, se muestra la siguiente gráfica:

Figura 4. Acumulado de la implementación de SCADA vs OEE mensual.



La validez de este resultado se corroboró mediante el cálculo de su grado de correlación por el método de *Pearson*, obteniendo una fuerte correlación positiva entre las variables estudiadas con valor de $p=0.908$.

Tabla 3. Grado de correlación entre variables dependiente e independiente.

Correlaciones			
		% implementación SCADA	% OEE
% implementación SCADA	Correlación de Pearson	1	.908*
	Sig. (bilateral)		.033
	N	5	5
% OEE	Correlación de Pearson	.908*	1
	Sig. (bilateral)	.033	
	N	5	5

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En base a los resultados obtenidos se puede decir que, se cumplieron de forma favorable todos y cada uno de los objetivos propuestos, tanto específicos como el general. Algunos pudiendo ser medidos de manera cuantitativa mientras que otros se reflejan en la operación de manera cualitativa.

Se logró aprovechar la tecnología de industria 4.0 instalada, pasando de un 0% a un 54.16% hasta llegar al 100% que representaba el alcance previsto. Se pudo reducir el consumo de agua de primer uso en 100 m³ mensuales e incrementar la productividad, lo que se traduce en un aumento en el consumo de agua reciclada. Se redujo significativamente el tiempo de respuesta ante fallas mediante alertas al celular a través de correo electrónico. El monitoreo remoto en tiempo real y la mejora de la calidad se hizo realidad. Se logró generar una base de datos con miles de registros tanto de las variables monitoreadas como de eventos que, posibilitan el análisis de la información. Se diseñó y desarrolló el sistema de forma tal que,

facilita su adaptación/modificación para necesidades futuras. Hubo una importante mejora en cuanto a la capacidad de supervisión sobre la operación de la PTAR y el trabajo de su operador. Finalmente, se obtuvo una herramienta con la cual no se contaba (el sistema en sí), que no sólo cumple con el propósito propuesto de alcanzar el 80% de OEE, sino que ayudó a superarlo con creces hasta un 93.56%. En este punto es importante mencionar que, el sistema tipo SCADA por sí solo no hubiera modificado el resultado, pero este, junto con la métrica utilizada dieron visibilidad para enfocar los esfuerzos para atacar problemáticas puntuales.

CONCLUSIONES

No es fácil tener la posibilidad de trabajar en un proyecto de este tipo de forma aplicada y operativa por las implicaciones económicas que esto representa, es por eso que, muchos investigadores recurren a la simulación, algo completamente válido que no les resta mérito ni credibilidad. Un ejemplo de ese tipo de trabajos es el de Rajhans et al. (2020), cuyo enfoque es muy similar al de este estudio. Algunos otros autores como Wu-Yang et al. (2020), utilizan el mismo tipo de herramientas, pero dirigen sus esfuerzos en otro sentido, específicamente hacia la mejora en la eficiencia energética, lo cual da pie para la realización de otro estudio muy interesante que pudiera llevarse a la práctica de tenerse la oportunidad.

Al final, lo que todas estas investigaciones buscan es que se puedan resolver las problemáticas que presentan las PTAR, para que logren cumplir con los tres principios de sustentabilidad para los que son construidas: el medio ambiental, el social y el económico, pero además es necesario que estos proyectos de infraestructura sean sostenibles a través del tiempo. La Organización de las Naciones Unidas lo establece como su objetivo 6 en la lista de "Objetivos de Desarrollo Sostenible" (ONU, 2016).

Finalmente, resta decir que siempre existe la posibilidad de mejora, estudios como estos, aún con resultados favorables, son perfectibles y por lo tanto presentan oportunidades de mejora. No podemos quedarnos de brazos cruzados luego de obtener los resultados esperados o deseados. Se requiere de perseverancia y constancia si se desea alcanzar la sostenibilidad en este sentido.

TRABAJO A FUTURO

Como trabajo futuro, se propone eliminar progresivamente la operación por tiempos y adoptar un sistema automatizado basado en el monitoreo en tiempo real de las condiciones de operación, como el estado de los dispositivos, flujos, niveles y variables de calidad. Asimismo, facilitaría la implementación de un

control remoto para la PTAR, habilitando la operación a distancia ante eventualidades y abriendo la puerta a investigaciones adicionales. El alcance podría extenderse a etapas posteriores del tratamiento de agua, como potabilización y purificación, evaluando el impacto de un sistema SCADA en la eficiencia global (OEE).

Una segunda línea de investigación se podrá dirigir a la utilización de la Industria 4.0 en una PTAR en donde dirigiendo de manera conveniente los esfuerzos a:

1. El estudio de la mejora en la eficiencia energética de manera aplicada,
2. Se propone, evaluar el impacto que se tendría en la OEE al incluir el control remoto en el sistema SCADA, en lugar del uso de timers para el funcionamiento de la PTAR,
3. Por último, se sugiere la realización de un estudio sobre el mantenimiento productivo total (TPM), variable directamente relacionada con la OEE.

REFERENCIAS

- Belohlavek, P. (2006). *OEE Overall Equipment Effectiveness su abordaje unicista*, (1ª Edición). Buenos Aires: Blue Eagle Group.
- Calderón, C. y Arteaga, V. (2019). *Factores que determinan la sostenibilidad de la PTAR. Estudio de caso PTAR Pucara del municipio de Sacaba*. [Trabajo de Diplomado] Universidad Mayor de San Simón. Bolivia.
- Guerrero, M. (2006). *El Agua*. (5ª edición). México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Hanna Instruments (S.F). *Conductividad y sólidos disueltos*.
<https://www.hannainst.es/blog/79/conductividad-y-solidos-disueltos>
- Huaquisto, S. y Chambilla, I. G. (2019). *Análisis del consumo de agua potable en el centro poblado de Salcedo, Puno. Investigación y Desarrollo*, 19 (1), pp. 133-144.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312019000100010
- Lahera, V., (2010). *Infraestructura sustentable: Las plantas de tratamiento de aguas residuales*. Quivera. Revista de Estudios Territoriales, 12(2), pp. 58-69.
<https://www.redalyc.org/pdf/401/40115676004.pdf>

- Martínez-Austria, P. F. y Vargas-Hidalgo, A. (2016). *Modelo dinámico adaptativo para la gestión del agua en el medio urbano*. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(4), pp. 139-154. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n4/2007-2422-tca-7-04-00139.pdf>
- ONU (2016). *17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/page/objetivos-de-desarrollo-sostenible>
- ONU-Hábitat y OMS (2021). *Progresos en el tratamiento de las aguas residuales. Estado mundial y necesidades de aceleración del indicador 6.3.1. de los ODS. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS)*, pp. 3. https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/10/sdg6_indicator_report_631_progress-on-wastewater-treatment_2021_es.pdf
- Rajhans, A., More, S., Gambhir, S. y Deshmukh, V. (2020). *Research paper on wastewater treatment plant using PLC & SCADA*. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 4(12), pp. 651-657. <https://www.ijeast.com/papers/651-657,Tesma412,IJEAST.pdf>
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. (2ª Edición). Barcelona: Editorial Revertée.
- SEGOB (11 de marzo 2022a). *NOM-001-SEMARNAT-2021*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022
- SEGOB (2 de mayo 2022b), *NOM-127-SSA1-2021*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022
- Torrescano, J. L. (2009). *Parámetros de operación en el proceso de tratamiento de agua residual por lodos activados*. *Aquaforum*, 13(52), pp. 14-19. http://seia.guanajuato.gob.mx/document/AquaForum/AF52/AF5204_ParametrosOperacion.pdf
- Wu-Yang, S., Ya-Yun, C., Lorensia, L. Jian-Gu, C. y Han-Yang, L. (2020). *Energy consumption análisis in wastewater treatment plants using simulation and SCADA system: Case study in northern Taiwan*. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124248. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620342931>

TABLA TRABAJO COLABORATIVO

Rol	Autor (es)
Edición 3 Vol. 3 – Núm. 2 enero – junio 2025	Página 55
Artículo de Investigación Original	

Investigación	Valente Ochoa Espinoza, Francisco Antonio Gutiérrez Cerecer, Juan Andrés Miranda Arnold, Jesús Iván Ruiz Ibarra, Alberto Ramírez Leyva
Curación de datos	Valente Ochoa Espinoza, Francisco Antonio Gutiérrez Cerecer, Juan Andrés Miranda Arnold, Jesús Iván Ruiz Ibarra, Alberto Ramírez Leyva
Escritura - Preparación del borrador original	Valente Ochoa Espinoza, Francisco Antonio Gutiérrez Cerecer, Juan Andrés Miranda Arnold, Jesús Iván Ruiz Ibarra, Alberto Ramírez Leyva
Escritura - Revisión y edición	Valente Ochoa Espinoza, Francisco Antonio Gutiérrez Cerecer, Juan Andrés Miranda Arnold, Jesús Iván Ruiz Ibarra, Alberto Ramírez Leyva
Visualización	Valente Ochoa Espinoza, Francisco Antonio Gutiérrez Cerecer, Juan Andrés Miranda Arnold, Jesús Iván Ruiz Ibarra, Alberto Ramírez Leyva
Supervisión	Valente Ochoa Espinoza, Francisco Antonio Gutiérrez Cerecer, Juan Andrés Miranda Arnold, Jesús Iván Ruiz Ibarra, Alberto Ramírez Leyva