

Innovación en Recursos Hídricos: Prototipo de sistema de automatización de despacho de agua para pozos

Innovation in Water Resources: Prototype of an Automated Water Dispensing System for Wells

Edgar Alberto Espinoza Zallas¹, Efred Samano Hermosillo², Ulises Balderrama Rey³, Juan Pablo Aguilar Limon⁴ y Damián Edgardo López Hermosillo⁵

¹ <https://orcid.org/0000-0001-7667-5782>. Universidad Estatal de Sonora. Autor de correspondencia.

² Universidad Estatal de Sonora

³ Universidad Estatal de Sonora

⁴ Universidad Estatal de Sonora

⁵ Universidad Estatal de Sonora

DOI: <https://doi.org/10.46589/rdiasf.vi40.612>

Recibido 8 de mayo de 2023.

Aceptado 29 de octubre de 2023

Publicado 30 de diciembre de 2023

Resumen

La automatización de pozos de agua representa una solución innovadora a los desafíos de la distribución manual de agua a gran escala. Tradicionalmente, este proceso requería de una intervención humana constante, incluyendo la activación manual de bombas y el llenado supervisado de tanques, lo cual no solo era ineficiente, sino que también presentaba riesgos de accidentes y limitaciones de horario. En respuesta a las necesidades de acceso continuo al agua (24/7) expresadas por los usuarios, este estudio presenta el desarrollo de un sistema automatizado de despacho de agua. Operando de manera ininterrumpida los 365 días del año, el sistema utiliza

un PLC (Controlador Lógico Programable) como su núcleo, un HMI (Interfaz Hombre-Máquina) como interfaz principal, y un sensor de flujo para la retroalimentación y control preciso del proceso. Este enfoque permite a los usuarios adquirir agua en cualquier momento, llenar sus tanques de forma autónoma y retirarse sin la necesidad de asistencia personal, mejorando significativamente la eficiencia, seguridad y accesibilidad del suministro de agua.

Palabras clave: Automatización de recursos hídricos, Controlador Lógico Programable (PLC), Interfaz Hombre-Máquina (HMI), Gestión sostenible del agua, Eficiencia en distribución de agua.

Abstract

The automation of water wells represents an innovative solution to the challenges of large-scale manual water distribution. Traditionally, this process required constant human intervention, including the manual activation of pumps and the supervised filling of tanks, which was not only inefficient but also posed risks of accidents and scheduling limitations. In response to the needs for continuous water access (24/7) expressed by users, this study presents the development of an automated water dispensing system. Operating uninterruptedly 365 days a year, the system uses a PLC (Programmable Logic Controller) as its core, an HMI (Human-Machine Interface) as the main interface, and a flow sensor for precise feedback and process control. This approach allows users to acquire water at any time, fill their tanks autonomously, and leave without the need for personal assistance, significantly improving the efficiency, safety, and accessibility of the water supply.

Keywords: Water resources automation, Programmable Logic Controller (PLC), Human-Machine Interface (HMI), Sustainable water management, Water distribution efficiency

Introducción

La problemática de la distribución del agua es multifacética, afectada por el crecimiento poblacional, cambio climático, uso ineficiente del agua, contaminación, y deforestación, conduciendo a la disminución de la disponibilidad del recurso hídrico. Esto impacta negativamente en la agricultura, salud pública, industria, biodiversidad, y puede provocar desplazamientos poblacionales (Geoenciclopedia, n.d.). En México, la situación es especialmente grave debido a sequías intensificadas y una infraestructura de suministro de agua inadecuada, lo que lleva a una dependencia del agua embotellada y aumenta el gasto familiar en agua (IMCO, 2023). A nivel global, se prevé un aumento en el número de personas afectadas por estrés hídrico para 2040, resaltando la importancia de la reutilización y tratamiento de aguas residuales (Aclara, n.d.).

Para enfrentar estos desafíos, es crucial implementar soluciones como la mejora de la eficiencia en el uso del agua, promover la reutilización y reciclaje del agua, y desarrollar tecnologías innovadoras para la desalinización y agricultura. La cooperación internacional y la gestión forestal sostenible también son fundamentales para una gestión más efectiva y equitativa de los recursos hídricos (Geoenciclopedia, n.d.).

En el ámbito de la gestión de recursos hídricos, la eficiencia y la seguridad fueron de suma importancia. La automatización de pozos de agua utilizando Controladores Lógicos Programables (PLC) e Interfaces Hombre-Máquina (HMI) emergió como una solución prometedora para abordar estos desafíos. Los Controladores Lógicos Programables (PLCs) son fundamentales en la automatización industrial, permitiendo el control eficiente de maquinaria y procesos. Sin embargo, no están exentos de desventajas. Una desventaja significativa es el costo

inicial elevado, que puede representar una barrera para pequeñas y medianas empresas. Además, la programación de los PLCs puede ser compleja, lo que requiere personal especializado para su implementación y mantenimiento. Otras limitaciones incluyen restricciones en la capacidad de memoria y velocidad de procesamiento, lo que puede afectar la respuesta en tiempo real en algunos sistemas de control. También existe el desafío de la compatibilidad, dado que hay diversos modelos y marcas en el mercado, lo cual puede complicar la integración con otros sistemas. Sin embargo, para este proyecto estos sistemas avanzados ofrecieron una gestión mejorada y más segura del agua, superando las limitaciones de los sistemas manuales y obsoletos. Estos sistemas permitieron una optimización del consumo energético y una reducción del desperdicio de agua, aspectos fundamentales en la era del cambio climático y la escasez de agua. La automatización no solo mejoró el control y la supervisión de los procesos de tratamiento y distribución de agua, sino que también facilitó la toma de decisiones basada en datos precisos y en tiempo real.

Este sistema buscó ofrecer un despacho de agua 24/7 en un área rural, donde el mecanismo de distribución no depende de una máquina, sino de personal, que debe estar capacitado para ello. Con esta implementación los clientes llegan a pagar su agua, proceden a llenar su tanque, y retirarse, sin necesidad de la presencia de personal para atenderlo. Y, sobre todo, tener un despacho de completos con un margen de error bajo, muy apegado al 0%.

Material y Método

Proceso Metodológico del Desarrollo del Proyecto

A raíz de la necesidad identificada por la dependencia municipal de suministro de agua, de implementar un sistema automatizado de despacho de agua, se seleccionó un Controlador Lógico Programable (PLC) como el controlador principal del sistema. Como dispositivos periféricos, se

incorporaron una Interfaz Hombre-Máquina (HMI), luces indicadoras, y un botón de paro de emergencia para el manejo y control del proceso.

Interacción PLC-HMI.

El PLC fue designado para controlar la mayor parte del proceso, trabajando en sinergia con el HMI para facilitar la selección de la cantidad de agua deseada por el usuario.

Funcionamiento del HMI.

En el HMI se programó un mensaje de bienvenida para los usuarios, iniciando la interacción con el sistema.

Proceso controlado por el PLC.

Una vez recibida la señal del HMI, el PLC inició el procedimiento. Se establecieron los parámetros operativos y se activó la bomba de agua. El sensor de flujo comenzó a enviar señales al PLC, iniciando el conteo del volumen de agua. El conteo de litros, basado en los parámetros previamente indicados en el HMI, determinó el momento de desactivación de la bomba.

Implementación del Sensor de Flujo.

El sensor de flujo fue responsable de medir el volumen de agua que transitaba por la tubería hacia el depósito de la pipa. Este dispositivo midió los litros mediante pulsos, que el PLC procesó mediante un contador. Esta configuración permitió determinar los momentos adecuados para la apertura y cierre de la electroválvula del sistema de llenado de agua.

Resultados

Desempeño del PLC

Se implementó un Controlador Lógico Programable (PLC) modelo DELTA, seleccionado por su fiabilidad y capacidad para cumplir con los requisitos específicos del proyecto. Este dispositivo demostró ser esencial para la automatización del sistema, permitiendo una gestión precisa de los Parámetros de operación y excluyendo la necesidad de intervención para el uso del validador de billetes MEI. La configuración y programación del PLC se ajustaron para optimizar el proceso de despacho de agua, garantizando un funcionamiento eficiente y conforme a los objetivos establecidos.

Interfaz HMI y Experiencia del Usuario.

La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) se diseñó para ofrecer una experiencia de usuario intuitiva y accesible. Al interactuar con la HMI, los usuarios son recibidos con un mensaje de bienvenida, se les muestra el nombre del organismo operador y se les proporciona información relevante como la hora y la fecha actual. Los pasos para realizar una transacción son sencillos:

Inicio del Proceso: Los usuarios inician el proceso con un clic en la opción "Comenzar".

Selección de Volumen: A continuación, seleccionan la cantidad de litros de agua requerida.

Pago y Despacho: Tras realizar el pago, comienza automáticamente el llenado del contenedor.

La secuencia está diseñada para minimizar el tiempo de espera y facilitar un acceso rápido y eficiente al agua.

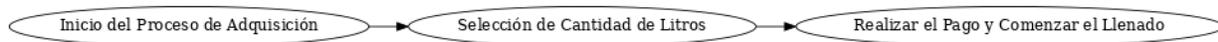
Validación de Billetes.

El validador de billetes es un componente crucial que asegura la transacción económica para el despacho de agua. Capaz de aceptar billetes de diversas denominaciones (20, 50, 100,

200, 500, 1000), este sistema realiza una validación instantánea mediante tecnologías avanzadas que verifican los mecanismos de seguridad del billete. La generación y procesamiento de pulsos por cada billete introducido se maneja de manera eficaz por el PLC, que confirma la autenticidad del pago y actualiza instantáneamente la información en la pantalla HMI. Este proceso asegura que el depósito del dinero sea reconocido de forma precisa, reflejando el compromiso del sistema con la seguridad y la fiabilidad en las transacciones.

Proceso

Figura 1. Diagrama de flujo



En este diagrama se identifica el proceso de inicio, adquisición y cierre.

Figura 2. Tabla comparativa

Este análisis compara el número de atenciones realizadas con y sin el uso de un prototipo de sistema de automatización de despacho durante tres turnos de trabajo distintos en una semana promedio. El objetivo es evaluar el impacto del sistema de automatización en la eficiencia operativa.

Periodo de Evaluación: Una semana

Turno de Trabajo	Atenciones sin Sistema	Atenciones con Sistema	Incremento (%)
08-16 hrs	40	65	62.5%
16-24 hrs	35	55	57.14%
24-07 hrs	25	30	20%

Fuente: elaboración propia.

Cálculo: Promedio de atenciones por turno.

Turnos de Trabajo: Divididos en 08-16 hrs, 16-24 hrs, y 24-07 hrs.

Comparativo: Atenciones sin el sistema vs. con el prototipo de sistema de automatización.

Se notó un incremento general en el número de atenciones en todos los turnos, atribuido a la reducción en el tiempo de espera gracias al sistema de automatización.

Análisis del Incremento

Para calcular el porcentaje de incremento en cada turno, utilizamos la fórmula:

$(\text{Atenciones con Sistema} - \text{Atenciones sin Sistema}) / \text{Atenciones sin Sistema} \times 100$

(Atenciones sin Sistema / Atenciones con Sistema – Atenciones sin Sistema) × 100.

Los incrementos porcentuales en el número de atenciones, al comparar los turnos con y sin el uso del sistema de automatización, son los siguientes:

El uso del prototipo de sistema de automatización de despacho ha demostrado un impacto significativo en la eficiencia operativa, con un incremento notable en el número de atenciones en todos los turnos. El mayor incremento se observó durante el turno de 08-16 hrs, seguido por el turno de 16-24 hrs, y finalmente, el turno nocturno de 24-07 hrs mostró el menor incremento. Estos resultados sugieren que el sistema de automatización reduce efectivamente los tiempos de espera, permitiendo así una mayor cantidad de atenciones durante el mismo período de tiempo.

Recomendaciones.

Implementación Completa: Dado el éxito del prototipo, se recomienda la implementación completa del sistema de automatización en todos los turnos de trabajo.

Monitoreo Continuo: Continuar monitoreando el desempeño para asegurar la eficiencia y realizar ajustes según sea necesario.

Expansión de Capacidad: Considerar la expansión de las capacidades del sistema para manejar un volumen aún mayor de atenciones.

Este enfoque estructurado no solo mejora la presentación de los datos sino que también proporciona un análisis detallado y recomendaciones basadas en los resultados observados.

Conclusión

El desarrollo e implementación de este sistema automatizado de despacho de agua representa un avance significativo en la gestión de recursos hídricos, al abordar eficazmente los desafíos asociados con los métodos de distribución manual de agua. La adopción de tecnologías avanzadas, incluidos los Controladores Lógicos Programables (PLC), Interfaces Hombre-Máquina (HMI), y sensores de flujo, ha permitido una operación más eficiente, segura y sostenible de los pozos de agua, lo que cumple con el objetivo del proyecto.

Este estudio subraya la importancia de integrar tecnologías avanzadas en la gestión de los recursos hídricos, no solo como una mejora operativa, sino como una necesidad crítica para garantizar la sostenibilidad y resiliencia de los sistemas hídricos frente a los retos actuales y futuros. La experiencia y los conocimientos adquiridos a través de este proyecto proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la automatización de recursos hídricos. El prototipo de sistema de automatización de despacho de agua para pozos fue desarrollado por investigadores de la Universidad Estatal de Sonora, el cual constituye un modelo ejemplar de cómo la tecnología puede ser aplicada para mejorar y optimizar procesos que impactan a problemáticas mundiales, ofreciendo soluciones innovadoras que son esenciales para el avance hacia un futuro más sostenible y eficiente en el uso del agua.

La problemática global de la distribución de agua, caracterizada por la escasez, la mala gestión y la desigualdad en el acceso, subraya la urgencia de adoptar soluciones tecnológicas avanzadas como el sistema automatizado de despacho de agua. Este contexto global, donde millones enfrentan limitaciones en el acceso al agua potable y las infraestructuras hídricas son a menudo insuficientes o ineficaces, hace que la implementación de sistemas automatizados no sea solo una innovación tecnológica, sino también una respuesta crítica a las necesidades humanas y ambientales. La distribución eficaz y justa del agua es fundamental para la salud, la agricultura, la economía y la sostenibilidad del ecosistema, lo que hace que el éxito de proyectos como el

10

descrito sea un paso vital hacia la solución de uno de los problemas más apremiantes de nuestra era.

Bibliografías

Aclara. (n.d.). La problemática del agua y sus consecuencias. Recuperado de blog.aclara.mx

AUTYCOM. (2019, 2 octubre). ¿Qué es un sistema HMI? Recuperado de <https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-hmi/>

Automation Group. (2023). Mitigating risks through modernization: PLC/HMI and radio upgrade plus water well expansion. Recuperado de Automation Group.

Distritecsa. (s. f.). ¿Qué es una electroválvula y para qué sirve? Recuperado de <https://www.distritec.com.ar/que-es-una-electrovalvula-y-para-que-sirve/>

EcuRed. (s. f.). Tecnología TTL. Recuperado 20 de noviembre de 2022, de https://www.ecured.cu/Tecnolog%C3%ADa_TTL

Fabricantes de Maquinaria Industrial. (n.d.). Ventajas y Desventajas de los PLC (Controlador Lógico Programable). Recuperado de <https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/ventajas-y-desventajas-de-los-plc-controlador-logico-programable/>

Geoenciclopedia. (n.d.). Escasez de agua: qué es, causas, consecuencias y soluciones. Recuperado de www.geoenciclopedia.com

IMCO. (2023). Escasez de agua y sequía en México: crisis actual. Recuperado de imco.org.mx

Industrias GSL. (2022, 21 octubre). ¿Qué es un PLC y cómo funciona? Recuperado de <https://industriasgsl.com/blogs/automatizacion/que-es-un-plc-y-como-funciona>

Japay. (2021, 9 noviembre). Verificación de la autenticidad de un billete. Recuperado de <https://japay.com/verificacion-de-la-autenticidad-de-un-billete/>

Rahman, M. S. (2023). Automation of a water treatment system using PLC and HMI. Recuperado de shafiqur.com

Ventajas y Desventajas Top. (n.d.). Análisis completo de las ventajas y desventajas de los PLC: ¿Son realmente la mejor opción? Recuperado de <https://ventajasydesventajastop.com/>

Versatilidad Web. (n.d.). Ventajas y desventajas de los controladores lógicos programables (PLC). Recuperado de <https://versatilidadweb.com/ventajas-y-desventajas-de-los-controladores-logicos-programables-plc/>

Conceptos clave y siglas

PLC: El PLC (Control Lógico Programable) es un equipo comúnmente utilizado por aquellas industrias que buscan dar un salto significativo en la automatización de todos sus procesos. (¿Qué es un PLC y cómo funciona?, 2022)

TTL: Las siglas en inglés significan transistor-transistor logic (lógica transistor a transistor). Tecnología de construcción de circuitos integrados electrónicos digitales basadas en el uso de transistores bipolares, es característico el uso de transistores multiemisores. TTL sucedió a las tecnologías RTL (lógica resistencia-transistor) y DTL (lógica diodo-transistor). (Tecnología TTL - EcuRed, s. f.)

HMI: Se trata de una Interfaz Humano-Máquina, la abreviación se debe por su nombre en inglés: Human-Machine Interface.

Es decir, es la interfaz entre el proceso y los operarios de una fábrica, una línea de producción, una empresa o cualquier sistema donde sea necesaria la operación por parte de un humano. (¿Qué es un sistema HMI?, 2019)

Validador de billetes: Reconocidos dentro de la industria de pagos desatendidos por su durabilidad, confiabilidad y excelencia en el desempeño, los validadores.

(Teycoval, 2021)

CÓMO CITAR

Espinoza Zallas, E., Samano Hermosillo, E., Balderrama Rey, U., Aguilar Limon, J. ., & López Hermosillo, D. E. (2023). Innovación en Recursos Hídricos: Prototipo de sistema de automatización de despacho de agua para pozos. *Revista De Investigación Académica Sin Frontera: Facultad Interdisciplinaria De Ciencias Económicas Administrativas - Departamento De Ciencias Económico Administrativas-Campus Navojoa*, (40). <https://doi.org/10.46589/riASF.vi40.612>


CRIS - UNISON
Sistema de Gestión de la Investigación



[Neliti - Indonesia's Research Repository](#)

