

# Monitoreo Remoto de las Variables de un Sistema de Riego para Invernadero Utilizando IIoT y Cloud Computing

*Remote Monitoring of the Variables of a Greenhouse Irrigation System Using IIoT and Cloud Computing*

- ID** **José de Jesús García-Cortés** es profesor de la Maestría en Ingeniería Electrónica y la Licenciatura en Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán (México) ([jose.gc@cdguzman.tecnm.mx](mailto:jose.gc@cdguzman.tecnm.mx)) (<https://orcid.org/0000-0003-2178-7132>), Maestro.
- ID** **Jorge Rubén Morfín-Orozco** es profesor de la Licenciatura de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán (México) ([jorge.mo@cdguzman.tecnm.mx](mailto:jorge.mo@cdguzman.tecnm.mx)) (<https://orcid.org/0009-0007-3858-6261>), Maestro.
- ID** **José Abel Chocoteco-Campos** es profesor de la Licenciatura de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán (México) ([jose.ac@cdguzman.tecnm.mx](mailto:jose.ac@cdguzman.tecnm.mx)) (<https://orcid.org/0000-0002-5925-9688>), Doctor.
- ID** **Gustavo Chávez-Orendain** es profesor de la Licenciatura de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán (México) ([gustavo.co@cdguzman.tecnm.mx](mailto:gustavo.co@cdguzman.tecnm.mx)) (<https://orcid.org/0009-0009-6106-2241>), Maestro.

**Resumen:** Este artículo presenta el diseño de un sistema de monitoreo remoto de las Variables de un Sistema de Riego para Invernadero, utilizando las tecnologías de IIoT y Cloud computing. Las superficies de riego en el territorio mexicano durante el 2016 fueron de un 27.6% del total de área sembrada y continua en crecimiento hasta la actualidad. En el año 2022, 5.4 millones de los habitantes eran productores agrícolas. De acuerdo con estas cifras, tenemos una gran cantidad de sistemas de riego que se pueden actualizar a las nuevas tecnologías, logrando entre otras cosas el acceso rápido a las mediciones y su digitalización. El monitoreo remoto de las variables del sistema de riego se logró diseñando transmisores alámbricos e inalámbricos, utilizando placas de desarrollo ESP32. Las señales de los transmisores se llevaron hasta un Controlador Lógico Programable (PLC), el cual se conectó a internet a través de una tarjeta Raspberry Pi. En la Raspberry Pi se desarrolló un Dashboard Local utilizando NODE RED. Los datos son llevados a la nube de Amazon Web Service (AWS) utilizando el protocolo MQTT. Así mismo se diseñó un Dashboard en la nube de AWS para acceder a los datos por medio de dispositivos móviles. Se configura en AWS, una aplicación con Alexa y una aplicación SMS para enviar mensajes a teléfonos celulares.

**Palabras clave:** Automatización, Computo en la nube, Internet Industrial de las cosas, IIoT, Sistema de riego para invernadero.

**Cómo citar:** García-Cortés, J.J.; Morfín-Orozco, J.R.; Chocoteco-Campos, J.A. y Chávez-Orendain, G. (2024). Monitoreo Remoto de las Variables de un Sistema de Riego para Invernadero Utilizando IIoT y Cloud Computing. *Tecnología, Ciencia y Estudios Organizacionales*, 6(12), pp. 15 – 24. <https://doi.org/10.56913/teceo.6.12.15-24>

Recepción: 12-09-2024  
Aprobación: 23-10-2024

**Abstract:** This article presents the design of a remote monitoring system for the variables of a greenhouse irrigation system using IIoT and Cloud computing technologies. Irrigated surfaces in the Mexican territory during 2016 were 27.6% of the total planted area and continues to grow to this day. In 2022, 5.4 million of the habitants were agricultural producers. According to these figures, we have a large number of irrigation systems that can be updated to new technologies, achieving, among other things, quick Access to measurements and their digitalization. Remote monitoring of irrigation system variables was achieved by designing wire and Wireless transmitters, using ESP32 development boards. The signals from the transmitters were taken to a Programmable Logic Controller (PLC), which was connected to the internet through a Raspberry card. On the Raspberry, a local Dashboard was developed using NODE RED. The data is taken to the Amazon Web Service (AWS) cloud using MQTT protocol. Likewise, a Dashboard was designed in the AWS cloud to Access data through mobile devices. An Alexa App, and a SMS App, was configured in AWS Clod, to send messages to cell phones.

**Keywords:** Automation, Cloud computing, Industrial Internet of Things, IoT, Greenhouse irrigation system.

### Introducción

A nivel mundial, el 40% del total de los alimentos que se producen son en regadío. El 70% del agua se utiliza para producir alimentos, llegando en algunos países hasta el 95%. Además, se prevé que la utilización del agua en el mundo aumente más del doble que la tasa de crecimiento demográfico (Ruiz et al, 2010).

Las superficies de riego en el territorio mexicano durante el año 2016 fueron de un 27.6% del total de área sembrada y continua en crecimiento hasta la actualidad. En el año 2022, 5.4 millones de los habitantes eran productores agrícolas. De acuerdo con estas cifras, tenemos una gran cantidad de sistemas de riego que se pueden actualizar a las nuevas tecnologías, logrando entre otras cosas el acceso rápido a las mediciones y su digitalización.

México es uno de los principales países exportadores de cultivos diversos al resto del mundo (Espinoza, 2011), esto se debe a su amplia gama de climas y tierras fértiles que propician el entorno perfecto para el desarrollo de diferentes tipos de cultivo, por este motivo la agricultura es un pilar básico de la economía de nuestro país, desde grandes empresas trasnacionales hasta pequeños micro empresarios o incluso personas que tienen cultivos para consumo propio, independientemente sea cual sea la escala, es un hecho que una de las bases para que un cultivo se desarrolle correctamente es el riego que este se le dé, este varía dependiendo del tipo de cultivo, sin embargo, actualmente la mayoría de los sistemas se operan de forma manual, requiriendo mucha atención del agricultor, por lo que los tiempos de riego son determinados por la experiencia del propio agricultor (Pérez, 2014), esto puede generar una serie de problemas generados por el ser humano como por ejemplo, olvidar encender y apagar el sistema en un tiempo óptimo para el desarrollo del cultivo, o dejar más tiempo encendido el sistema provocando exceso de agua al cultivo, lo que acarrearía mayor consumo del recurso hídrico que es tan importante a nivel nacional e internacional ya que según el informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo proporcionado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, se observa que un aproximado del 70% del agua es utilizada para el riego (Rodríguez, 2018). O por el contrario no encender el tiempo suficiente provocando que el cultivo se seque, en los dos casos anteriores se desemboca en un mayor consumo energético del sistema. Todo lo anterior disminuye la productividad, causándole pérdidas económicas al agricultor, por lo que se hace

esencial hacer un uso eficiente de agua mediante riegos automatizados con esto se busca solucionar estos errores, aumentando la producción, ahorrar en el consumo energético y minimizar la merma en la productividad, ya que el agricultor no necesitaría estar pendiente en todo momento del cultivo, porque el sistema al ser autónomo tomaría las decisiones requeridas, además con la opción de monitoreo y control remoto, el agricultor se sentirá cómodo y seguro de que su cultivo está siendo regado adecuadamente incluso si no está cerca de este.

Los sistemas de riego son un conjunto de estructuras que funcionan relacionadas entre sí y que tienen como objetivo conducir el agua hasta la zona radicular de las plantas, asegurando la disponibilidad del agua para la planta. Además de esto, se aprovechan los diferentes beneficios que el sistema brinda al aplicar las diferentes cantidades de nutrientes que el cultivo necesita en diferentes cantidades a lo largo de las diferentes etapas de crecimiento, germinación, desarrollo vegetativo, floración, cuajado de fruto, desarrollo de fruto y senescencia. Así como de hacer un uso eficiente del agua, fertilizantes (lo que se conoce como fertirrigación), agroquímicos, para aumentar la rentabilidad de la producción agrícola (Flores, 2022).

Actualmente en los sistemas de riego se puede implementar tecnología de la industria 4.0 como el IoT, el IIoT Y Cloud computing. El internet industrial de las cosas (IIoT) es el uso de sensores inteligentes, actuadores y otros dispositivos, como etiquetas de identificación por radiofrecuencia, para mejorar los procesos de fabricación e industriales. Estos dispositivos se conectan en red para recopilar, intercambiar y analizar datos. La información obtenida de este proceso contribuye a aumentar la eficiencia y la fiabilidad. También conocida como Internet industrial, la IIoT se utiliza en muchos sectores, como la fabricación, la gestión de la energía, los servicios públicos, el petróleo y el gas. La IIoT utiliza la potencia de las máquinas inteligentes y el análisis en tiempo real para aprovechar los datos que las máquinas mudas han producido en entornos industriales durante años. La filosofía que impulsa la IIoT es que las máquinas inteligentes no sólo son mejores que los humanos a la hora de capturar y analizar datos en tiempo real, sino que también son mejores a la hora de comunicar información importante que puede utilizarse para tomar decisiones empresariales de forma más rápida y precisa. Los sensores y actuadores conectados permiten a las empresas detectar antes las ineficiencias y los problemas, lo que ahorra tiempo y dinero a la vez que respalda los esfuerzos de inteligencia empresarial. En el sector manufacturero en concreto, la IIoT tiene el potencial de proporcionar control de calidad, prácticas sostenibles y ecológicas, trazabilidad de la cadena de suministro y eficiencia general de la cadena de suministro (Guo, 2018).

Mientras que la computación en nube es la prestación de diferentes servicios a través de Internet. Estos recursos incluyen herramientas y aplicaciones como almacenamiento de datos, servidores, bases de datos, redes y software. En lugar de guardar los archivos en un disco duro propio o en un dispositivo de almacenamiento local, el almacenamiento basado en la nube permite guardarlos en una base de datos remota. Esto permite que mientras un dispositivo electrónico tenga acceso a la web, tendrá acceso a los datos y a los programas de software para ejecutarlos. La computación en nube es una opción popular para personas y empresas por varias razones, como el ahorro de costes, el aumento de la productividad, la velocidad y la eficiencia, el rendimiento y la seguridad (Zurich, 2009).

Como antecedente a este trabajo, el Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán cuenta con un sistema de riego clásico para invernaderos (Figura 1), con las opciones de control Automático y Manual pero que no cuenta con la opción de monitoreo remoto.

Los objetivos de este trabajo son: i) investigar como las tecnologías del internet de las cosas (IoT), internet industrial de las cosas (IIoT) y el Cloud computing pueden ayudar a resolver problemas en el agro mexicano y específicamente en los sistemas de riego para invernadero; ii) aplicar las nuevas tecnologías en el diseño de equipos, instrumentos y programas teniendo como premisa el desarrollo a un bajo costo empleando hardware y software libre; iii) diseñar sistemas modulares que puedan ser escalables a sistemas más completos y sofisticados.

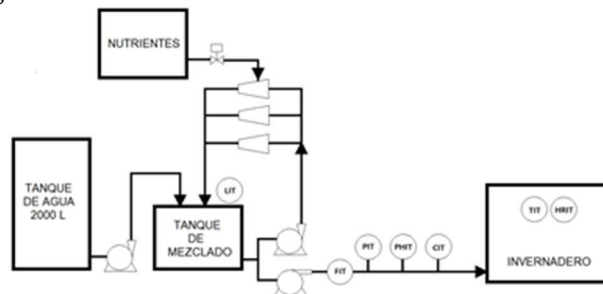
**Figura 1.** Sistema de riego del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán.



### Método

En la Figura 2 se presenta el diagrama de tuberías e instrumentación (DTI) del sistema de riego y en la Figura 3 la arquitectura del sistema de monitoreo IIoT. En esta primera etapa se trabajó con las variables de nivel del tanque de mezclado, presión del agua de riego y el monitoreo de la temperatura y la humedad relativa.

**Figura 2.** Diagrama de tuberías e instrumentación del sistema de riego (DTI).



En la Figura 3 se presenta la arquitectura del sistema IIoT de riego, cada uno de los elementos serán descritos a continuación. En la Figura 4 se muestra el transmisor de presión que tenía el sistema de riego, su rango es de 0 - 60 psi y su salida es analógica de 4 a 20 mA. En la Figura 5 se presenta el diagrama eléctrico de conexiones del transmisor de presión. En este proyecto se diseñó también un transmisor de presión IoT de bajo costo, el cual es presentado más adelante.

Figura 3. Arquitectura del sistema IIoT.

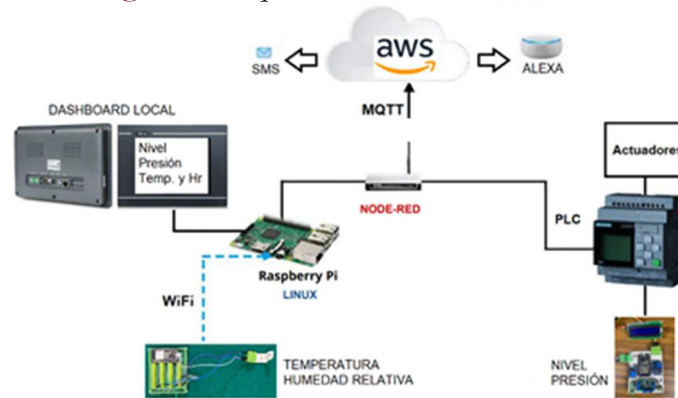
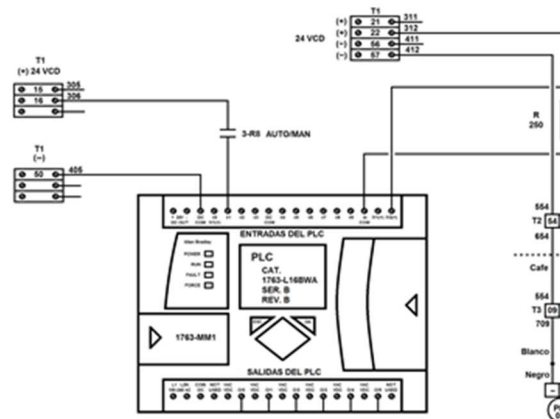


Figura 4. Transmisor de presión con salida analógica de 4 a 20 mA



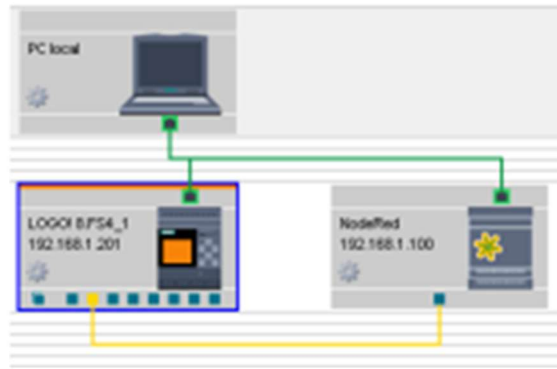
Figura 5. Diagrama eléctrico de conexiones del transmisor de presión



En la Figura 6 se presenta el lazo de control de nivel del tanque de mezclado. El tanque de mezclado tiene una altura de 100 cm y una capacidad de 90 L. En este proyecto se diseñó el transmisor de nivel IoT tipo ultrasonido.



**Figura 8.** Configuración de la red para el PLC.



### Resultados

En la Figura 9 se muestra el sistema de riego, donde se realizaron los trabajos, y en la Figura 10 se presenta la configuración del sistema IIoT implementado con un PLC, una Raspberry y las aplicaciones en la nube de AWS: Alexa (programada en Python) y envío de mensajes y alertas SMS a dispositivos móviles (programadas en Java script).

**Figura 9.** Sistema de riego.



**Figura 10.** Configuración en AWS.



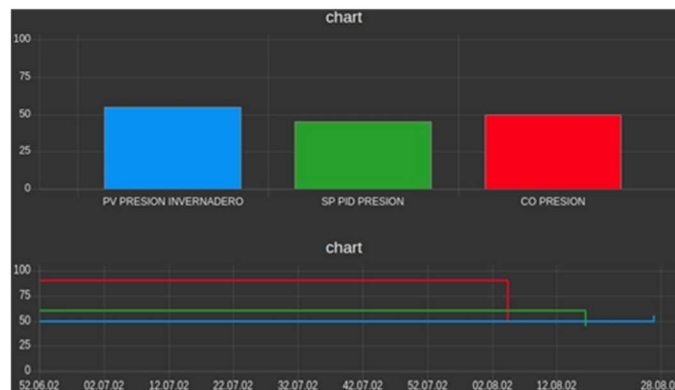
En la Figura 11 se muestra el Dashboard Local y los Widgets para cada una de las mediciones. En esta etapa solo se diseñó los transmisores para Nivel, Presión, Temperatura y humedad relativa, pero se incluyeron de una vez en los Dashboards desarrollados los indicadores para Conductividad, Flujo y pH. En la Figura 12 se presenta el programa del Dashboard desarrollado en NODE RED.

**Figura 11.** Dashboard local de mediciones del sistema de riego.



En la Figura 13 se muestra el Dashboard local (Raspberry) para el lazo de control de presión. Los valores de los parámetros de sintonización del controlador P+I, desarrollado en el PLC son:  $K_c = 11$  y  $T_i = 1.0$  s. En la Figura 14 se muestra el transmisor de presión IoT, diseñado para un rango de 0 a 60 psi.

**Figura 13.** Dashboard del control PI de presión del agua de riego.



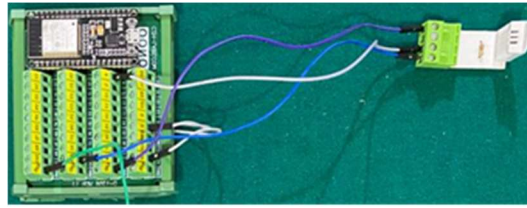
En la Figura 15 se muestra el transmisor de nivel con un diseño modular, en el cual se pueden identificar los siguientes módulos: i) amplificador y acondicionador de la señal de entrada; ii) microcontrolador; iii) Convertidor de Voltaje (PWM) a corriente de 4 a 20 mA; iv) fuente de alimentación conmutada y v) Display.

**Figura 15.** Transmisor de Nivel.



En la Figura 16 se muestra el transmisor IoT de temperatura y humedad relativa diseñado.

**Figura 16.** Transmisor IoT de Temperatura y HR, con salidas WiFi.



### Discusión


Existe una gran cantidad de sistemas de riego que se pueden actualizar a las nuevas tecnologías (IA, IoT, IIoT, Cloud computing, etc.), logrando entre otras cosas el acceso rápido a las mediciones y su digitalización. El poder contar en cualquier lugar y en tiempo real con información de las variables del sistema de riego permite conocer la operación real del proceso, esto ayuda a bajar costos y aumentar la calidad al poder tomar decisiones de una manera más inmediata e informada.

Otras variables muy importantes en los sistemas de riego, que se dejaron para un trabajo futuro, son: conductividad eléctrica (la cuál determina la cantidad de nutrientes que tiene el agua de riego), el pH, y Flujo.

Este trabajo fue financiado por el Tecnológico Nacional de México; se agradece al Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán por las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto en sus instalaciones.

### Referencias

- Aström, K.J. y Hagglund, T. (2009). Control PID avanzado. Pearson Prentice Hall. Madrid. España.
- Farzana, W. (2023). Diseño y construcción de un sistema de riego automatizado. Ediciones Nuestro conocimiento. USA.
- García-Cortés, J.J. at al. (2018). Modelado, Control y Monitoreo vía internet de la variable presión de aire. Pistas Educativas. Celaya Guanajuato. México.
- Guo, J. (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework.
- Herrera-Flores. (2022). Automatización de un sistema de riego para la empresa mediante el internet de las cosas (IoT). DSPACE. USA.
- Hernández-Gaviño, R. (2010). Introducción a los sistemas de control: conceptos, aplicaciones y simulación con MATLAB. Pearson Educación. Naucalpan de Juárez, Estado de México. México
- Lugo-Espinoza, O. (2011). Prototipo para automatizar un sistema de riego multicultivo. Revista Mexicana de ciencias agrícolas.
- Morales-Castañeda, J.B.; Maciel-Castillo, O.E.; Aranguren-Navarro, I.N. y Zaldívar-Navarro, D. (2017). Fundamentos De Programación Con Alexa. Editorial RA-MA. España.



Pérez, Bladimir; Koo, J.; García, F. y Carmona, J. (2014). Automatización, monitoreo y control remoto de un sistema de riego agrícola con código abierto. Revista LACCEI: 12<sup>a</sup> Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Guayaquil, Ecuador.

Ruiz-Canales, A. y Molina-Martínez, J.M. (2010). Automatización y telecontrol de sistemas de riego. Marcombo ediciones técnicas. Barcelona. España.

Zurich. (2009). Cloud Computing: Today and Tomorrow. JOT.