



Agricultura Distante: Tecnologías Remotas para supervisión de procesos

Faraway Agriculture: Remotes Technologies for processes supervision

Fabián Camilo Castañeda Árias  ¹, Kristel Solange Novoa Roldán  ²

Para citar este artículo: F. C. Castañeda Árias, K. S. Novoa Roldán "Agricultura Distante: Tecnologías Remotas para supervisión de procesos", Revista Vínculos, vol 19, no. 1, p-p 66-80, 2022.
<https://doi.org/10.14483/2322939X.15563>

Recibido: 16-01-2021 / Aprobado: 02-04-2022

Resumen: Un gran avance tecnológico ha sido poder conocer con inmediatez los valores de procesos críticos industriales, sin importar distancias o factores geográficos donde se localizan; tal es el caso de la agricultura, industria vital durante la pandemia del 2020. Si bien, buena parte del mundo no estuvo preparada para enfrentar esa “nueva realidad” en donde prima el distanciamiento y la comunicación remota, muchos sectores ya venían trabajando con la premisa de supervisar este comportamiento. El artículo a continuación da a conocer un proyecto de monitoreo de un cultivo remoto por medio de plataformas IoT (*Internet de las Cosas*) en una estación de trabajo distante al usuario, con dispositivos de automatización

que permiten mostrar y ajustar variables críticas para el proceso. La información generada se envía por medio de protocolos IoT a una estación de mando, donde el usuario final puede vigilar cambios inmediatos en el desarrollo del cultivo, y así tomar acciones para mitigar afectaciones en la calidad del producto final, obteniendo una manera práctica de hacer seguimiento a cambios en variables principales, permitiendo mejores formas de controlar procesos y sus resultados.

Palabras clave: Agro-tech, Comunicación, Distanciamiento, IoT, Plataforma, Remota, Supervisión.

¹ Estudiante Ingeniería en Control, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.

² Ingeniera en Control, Especialista en comunicaciones Industriales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.

Abstract: A great technological advance has been achieving to know immediately values of critical industrial processes, regardless of distances or geographical factors where they are located; Such is the case of agriculture, a vital industry during this 2020 pandemic. Although much of the world was not prepared to face this “new reality” where distancing and remote communication prevail, many sectors had already been working with the premise of monitoring their behavior. This article presents a remote crop monitoring project, by means of IoT (Internet of Things) platforms at a workstation distant from the user, with automation devices that allow the display and adjustment of critical variables for the process. The information generated is sent through IoT protocols to a command station where the end user can monitor immediate changes in the development of the crop, and thus take actions to mitigate effects on the quality of the final product, obtaining a practical way to monitor changes in main variables, allowing better ways to control processes and their results.

Keywords: Agro-tech, Communication, Distancing, IoT, Platform, Remote, Supervision.

1. Introducción

Durante el siglo XX se han desarrollado numerosas técnicas para optimizar procesos en los ámbitos productivos, comerciales y de

servicios, incluyendo estrategias para la supervisión y el seguimiento de plantas que se encuentran en ubicaciones remotas, tales como los cultivos de producción para alimentos y materias primas. Una de estas técnicas aplicada principalmente en la industria manufacturera es el sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), el cual es definido por Daneels y Salter [1], como una arquitectura de sistemas de control articulados con un software que se instala en una unidad de control, que interactúa con elementos de “control distribuido” localizados en la planta a intervenir (ej. cultivos) [2], y que permite tener de forma casi inmediata la información sobre variables críticas, su estado, errores, y acciones a tomar en caso que estas se hallen desviadas de sus valores normales de trabajo.

Colombia es un país con una gran biodiversidad de plantas, en donde existe la creciente necesidad de optimizar todo el proceso productivo, en especial debido al brote del COVID-19, que ha impedido desplazamientos hacia los campos de trabajo, y es allí donde toma relevancia el Internet de las cosas (*Internet Of Things*) o IoT, pudiendo tomarse como evolución del SCADA, traída por el auge de la conectividad, la rapidez del crecimiento del internet, la necesidad de tener la mayor información disponible sobre los procesos y lo práctico de enviar y tener alojada dicha información en una nube informática [3]–[4], que tienen como características: la gran distancia que puede separar al usuario de la ubicación, el difícil acceso geográfico, la

complejidad del cultivo para tender buses de comunicación, la necesidad de escalabilidad que permita aumentar las variables a supervisar y tener más datos para tomar decisiones o llevar indicadores, y evitar tener que dirigirse a zonas apartadas o con riesgo epidémico latente.

Actualmente se ha logrado un grado de madurez en implementaciones de plataformas del IoT concierne (Microsoft Azure®, Amazon AWS®, ThingsBoard®), las cuales no se limitan a una única aplicación, sino que permiten personalizar las opciones que ofrecen tanto a desarrolladores como a clientes; estas deben ofrecer de forma balanceada “habilitación de aplicaciones, agregación de datos, almacenamiento y gestión de la conectividad” [5] ;existen comercialmente soluciones industriales aplicadas: el producto con su interfaz, hardware y conectividad a nubes [6]–[8] , y otras discretas hechas a medida o basadas en proyectos [9]–[11], exponiendo que en el campo del Agro-Tech se tiene una nueva ventaja, acelerada en gran parte por el brote del COVID-19 y todas las restricciones y condiciones que se han puesto [12].

Este artículo propone una solución para monitoreo de una variable crítica en un cultivo, la presión de agua de riego: se describen el sistema y las partes que lo componen (breve repaso teórico, descripción de la solución y sus partes, interacción entre elementos), seguido por una explicación de la plataforma y de los

nodos de automatización e IoT utilizados, y finalmente pruebas realizadas a la solución y conclusiones de esta. El diseño presentado consta de 3 componentes básicos: la sensórica puesta en campo, el nodo de adquisición de información (implementado en un Controlador Lógico Programable PLC) y el soporte de conectividad web.

2. Materiales y Metodología

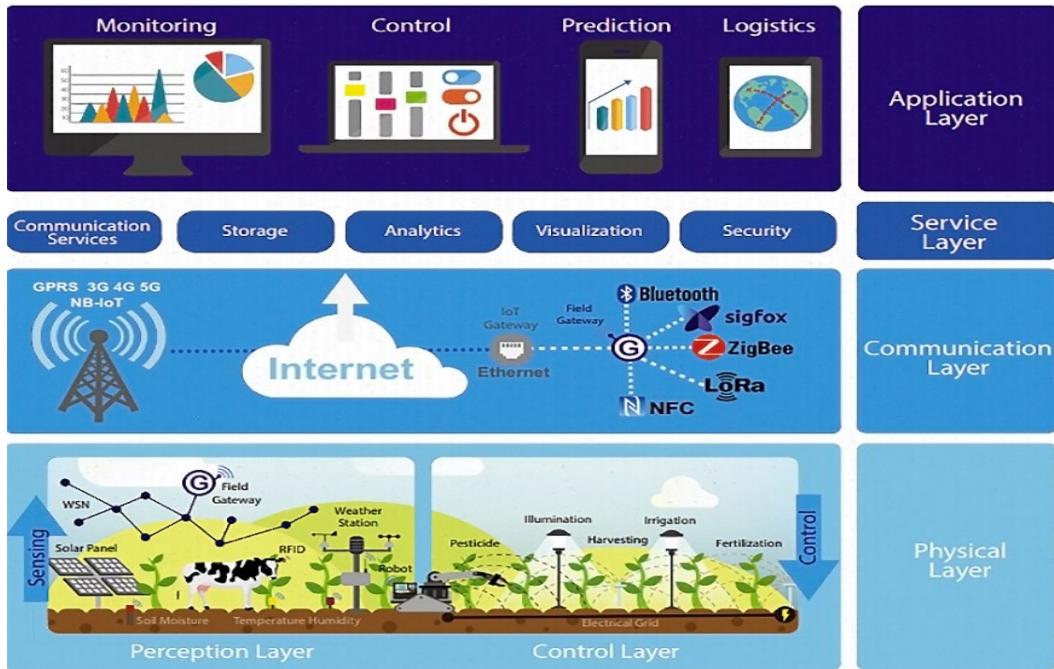
2.1 Esquema de implementación

En la Figura 1 se representa la arquitectura en general usada para aplicaciones agro-industriales.

La capa física corresponde al cultivo remoto, y las variables críticas monitoreadas se relacionan con la irrigación de este. La capa de comunicación se establece con una plataforma IoT en nube para permitir la interacción remota; la capa de servicio se encuentra embebida en la misma de aplicación por medio del conjunto PLC + dashboard que presenta las variables.

El esquema de la solución organizado por conformación consta de un componente de hardware: los equipos instalados en campo para la adquisición de señales, la supervisión y la comunicación de las variables; y otro de software: el programa de captura de información y la interfaz del usuario final.

Figura 1. Diseño de red para aplicaciones agro-tech.



Fuente: J. Talavera y asc. [13] pp. 294.

2.2 Componentes de Planta

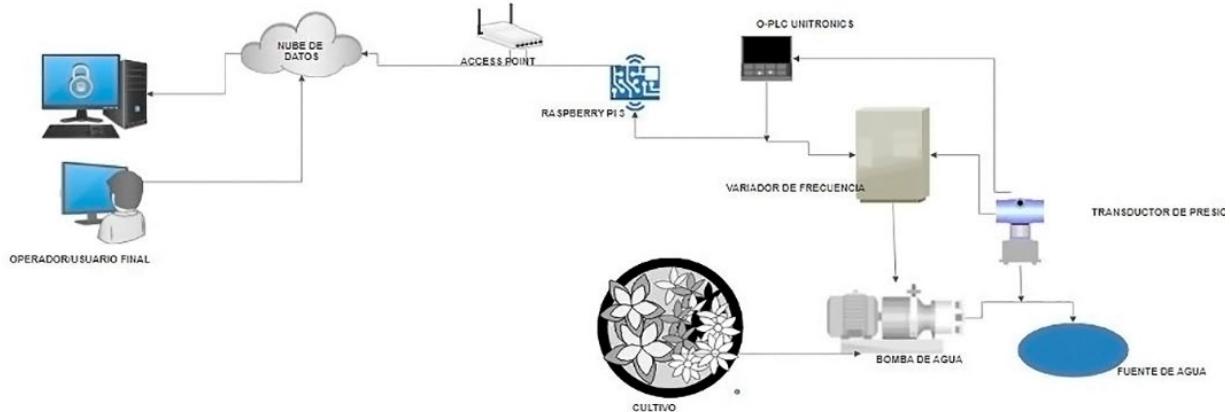
La irrigación del cultivo es el sistema por controlar dentro de la planta remota, el cual se muestra interconectado esquemáticamente en la Figura 2.

Este se conforma de tres partes: 1) el hardware y los equipos, los cuales comprenden los actuadores como el variador de frecuencia, controlador PLC para accionar equipos, leer datos de variables, establecer comunicación, llevar registros, etc., y las estaciones de trabajo en computador tanto local como de forma remota; 2) el software utilizado, tanto en la conectividad, como el usado para indicar las

variables del proceso; y 3) la plataforma del IoT como soporte web tecnológico.

No está en el alcance del artículo el dimensionamiento de equipos, ya que se aborda solo el enfoque del control. La bomba es manejada por un variador de frecuencia (VDF) proporcionado para manejar el motor de la bomba centrífuga, el cual también es de alimentación trifásica, este VDF cuenta con protocolo de comunicación integrado MODBUS RTU, aunque no se limita a este bus de campo ya que puede aplicarse otro dependiendo de la topología. Se optó por un equipo con bus de comunicación MODBUS-RTU RS485 que es de los más empleados en la industria por su sencillez y robustez de capa física.

Figura 2. Estructura general de planta física.



Fuente: Elaboración propia.

La bomba de agua es tipo centrífuga, en la cual el agua de riego alcanza su presión de trabajo según la velocidad a la que el motor haga girar su impulsor y para ello se sirve del variador de frecuencia.

En esta aplicación el VDF integra un modo para controlar la presión por medio de un lazo de control PI (control Proporcional-Integral) usando un transductor de presión, Figura 3, con tensión de alimentación que viene del propio variador (voltaje de trabajo oscila entre 10-30 VDC) con salida de señal a 4-20 mA proporcional a la presión máxima del transductor. El PLC empleado es de tipo OPLC (*Operator Panel + PLC*), que permite optimizar la tarea de monitoreo al no requerir de un computador en sitio, y establece comunicación con el VDF (Modbus RS485) y con el sistema de monitoreo por medio de ETHERNET.

Figura 3. Transductor de presión.



Fuente: [14]

Se pueden integrar transductores que brinden datos adicionales sobre variables críticas para el proceso: humedad del suelo, temperaturas, etc., dejando como punto clave de la supervisión de variables cuáles son aquellas fundamentales para el proceso. Ahora, para el desarrollo de la parte de interfaz, se tuvieron en cuenta las necesidades particulares para la aplicación:

Figura 4. Interfaz HMI: Local en cultivo-Remota en sitio de usuario final.

Fuente: Elaboración propia.

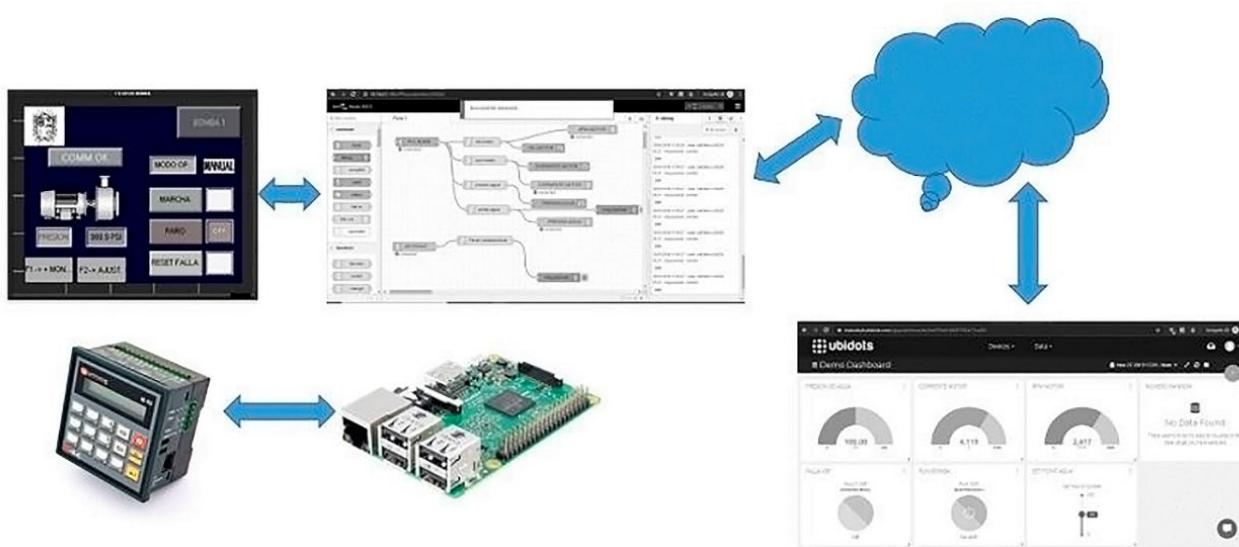
- Visualizar valores actuales de presión de trabajo, *set-point* de presión, estado de la bomba de agua: corriente de motor, si está en marcha o en paro el motor, o si presenta alguna falla durante su funcionamiento.
- La interfaz gráfica debe ser ligera, de tal forma que al implementar el *dashboard* o panel de instrumentos, la cantidad de datos transferida no colapse la comunicación entre servidor y cliente.
- Dar al sistema de cultivo remoto (planta, bombas de agua, entre otros) comandos de marcha y paro, ajuste de *set-point* de presión de bomba hidráulica que permita mantener un flujo de agua constante y óptimo según el requerimiento de agua de la plantación.

El resultado final de la interfaz se observa en la Figura 4: a la izquierda la pantalla de uso en el OPLC y a la derecha el *dashboard* o panel de control visto del lado del usuario final.

2.3 Desarrollo de la aplicación

Luego de establecer los lineamientos requeridos para la aplicación, se procedió con la programación de los componentes del sistema, según el esquema de interconectividad planeado en la Figura 5 y donde se ubican los bloques principales del sistema:

- La sensórica en campo, consta de los sensores de presión, (opcionalmente de humedad y temperatura en suelo) y su cableado al PLC principal.
- El nodo de adquisición de información, compuesto por el PLC y las interfaces local y remota de supervisión.
- El soporte de conectividad web, que se compone por la plataforma de conexión a IoT implementada en Raspberry Pi, la conexión a internet (sea por cable o tipo Wireless) junto con el *dashboard* y la integración entre estos por medio de la herramienta Node-RED.

Figura 5. Flujo de información desde PLC hasta dashboard.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.1 La programación de conectividad web

El desarrollo de la conectividad se basó en combinación de varias plataformas, que interactúan entre sí para hacer puente entre la planta física y el punto del usuario final.

- El OPLC cuenta con comunicación MODBUS-TCP por medio de puerto Ethernet instalado adicional, que permite implementar un nodo esclavo con el mismo PLC, lo cual transmite la información a la plataforma de integración de forma directa y simplificada. También es posible la conexión con un servidor-cliente OPC *third-party*. El sistema Node-RED por medio del flujo *node-red-contrib-modbustcp* (*node*) se establece como cliente al PLC esclavo en red.
- La plataforma *Node-RED* mostrada en Figura 6 conecta las variables leídas en

MODBUS TCP usando la función FC3 (READ HOLDING REGISTER), desde el cultivo remoto hacia el *web dashboard*, la interfaz visible donde las variables se presentan de forma gráfica y numérica, enlazando los valores trasladados desde el nodo de trabajo en el cultivo remoto. Se presenta esta forma en el desarrollo, ya que industrialmente existen plataformas que permiten, según el nivel de criticidad, ancho de banda de comunicación, nivel en campo de implementación, seguridad de datos, aplicarse en mayor o menor medida, como el sistema embebido *IoT Particle Boron*, [15] que incluye conectividad e incluso su propia plataforma *web dashboard*.

- Los datos van de la aplicación en *Node-RED* alojada en el *Raspberry PI* hacia el *dashboard* programado en *Ubidots*, que es una plataforma tipo *cloud-web*, que permite

el enlace de la información y su visualización de forma amigable al usuario final, quien tiene la información a la mano y puede tomar decisiones sobre el estado de la(s) variable(s) críticas que afecten el proceso.

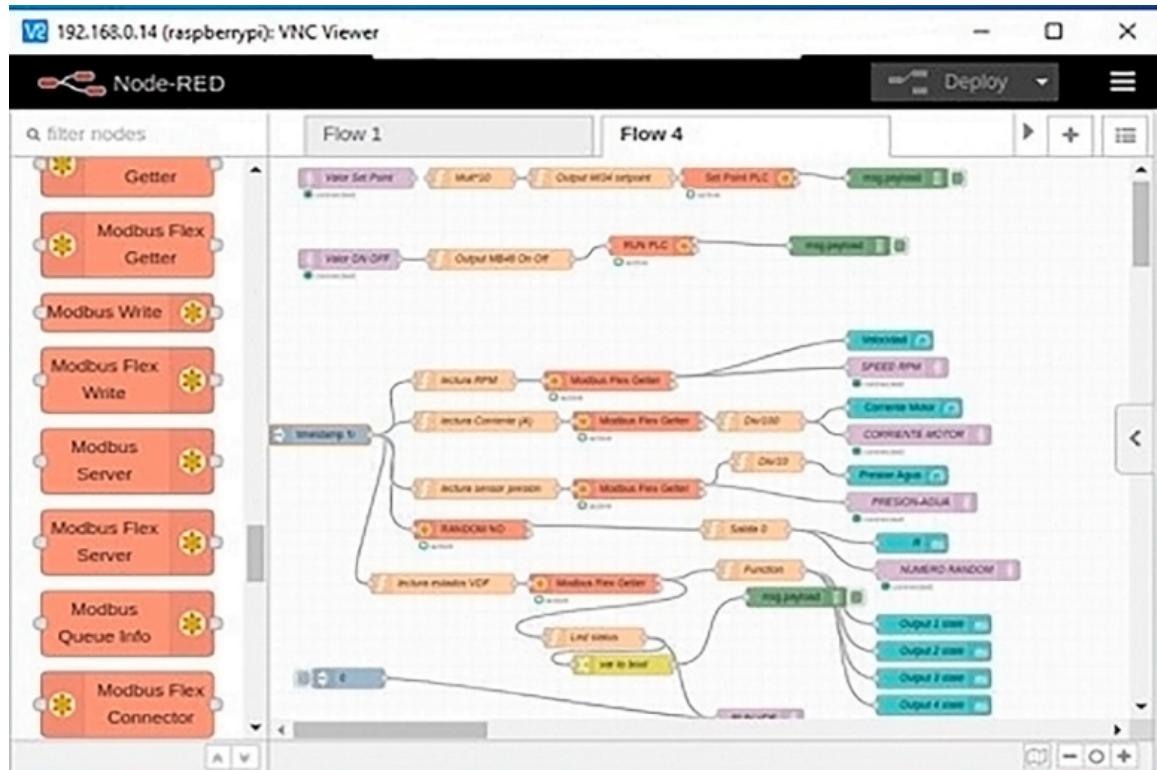
- El OPLC se programa con software propio, *Unitronics Visilogic* el cual se descarga de la página web del fabricante y es de uso gratuito. El lenguaje en que se programa es tipo *Ladder* que está normalizado en el estándar IEC61131-3.

2.3.2 Plataforma Web de presentación

La plataforma en que se visualizan y operan los datos para el usuario final se construye

con herramienta Ubidots, que muestra medidores (*gauges*) de las variables desde el cultivo remoto usando cadenas MQTT (*MQ Telemetry Transport*), viniendo desde el cultivo hacia el OPLC, concentrando las señales y datos tomados de los elementos (actuadores-variadores, sensores, etc.) y transmisiéndolos hacia la nube. Si bien se usó Ubidots como *dashboard* por su simplicidad y facilidad de conectividad, cualquier otra plataforma se puede usar para esta finalidad; incluso la misma herramienta Node-RED permite esto también por medio de la función *node-red-dashboard* para generar una interfaz de Usuario (UI). El nivel de acceso es parte fundamental de la seguridad, por lo que la plataforma también

Figura 6. Sistema de flujos Node-RED para comunicación TCP.



Fuente: Elaboración propia.

permite ingreso por medio de autenticación, para evitar posibles interferencias en el manejo del proceso.

3. Pruebas y Resultados

Para probar el resultado de la solución propuesta, se monta un banco de prueba como se ve en Figura 7 con la implementación a realizar en campo tal como se haría en una aplicación real.

A la izquierda está el punto de acceso inalámbrico (*Wireless Access Point*) que en efectos prácticos hace el puente de la aplicación al internet, lo que permite el acceso desde la interfaz web por medio de la nube IoT de Ubidots, para tener lectura de datos y comandos de marcha/paro del equipo. Cabe destacar que las locaciones del prototipo enseñado y del control son distintas, no en el mismo recinto, pero sí en

Figura 7. Esquema de montaje prototipo funcional.



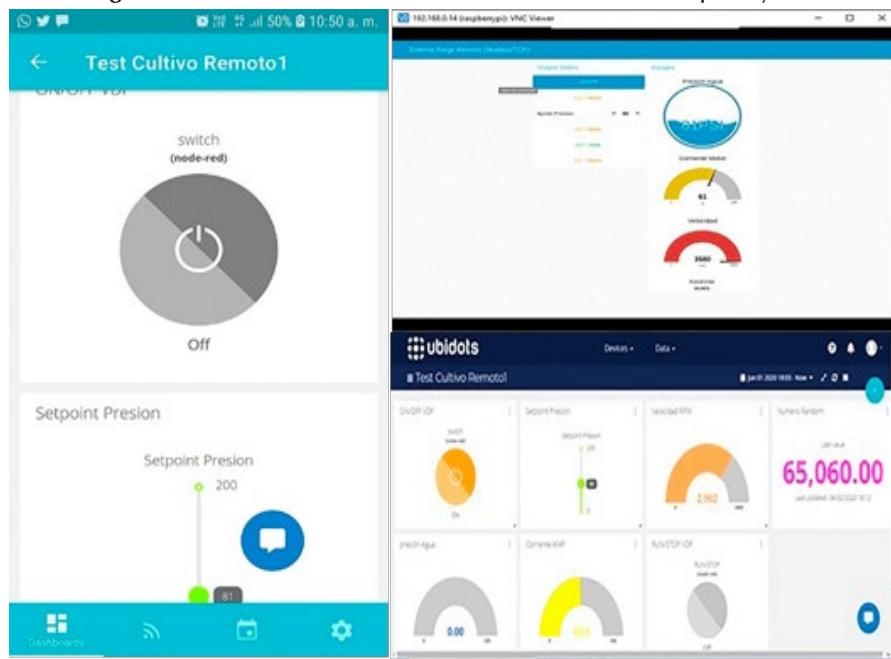
Fuente: Elaboración propia.

la misma ciudad, con 5 km aprox. De distancia entre ellos.

Si bien no se cuenta con VDF disponible para realizar simulación física, se revisa que los comandos de RUN/STOP sean llevados por la trama MODBUS RTU correctamente.

También se hacen simulaciones usando el *dashboard* tanto en PC como en móvil, y usando conexión a internet tanto en modo fijo (conexión local por cables) como por datos celulares (modos 3G/4G) para confirmar la respuesta, latencia y modos de visualización en las pantallas usadas para monitoreo. En la Figura 8 se muestran las visualizaciones obtenidas finales para cada plataforma usada; donde se aprecian los medidores de las variables: velocidad y corriente de motor, presión de agua y estado marcha/paro de bomba eléctrica.

Los resultados obtenidos luego de varias pruebas ejecutadas tanto local como con conexión remota (internet fijo y datos 3G/4G) se resumen en las tablas siguientes: Tabla No. 1 para hardware y No. 2 para software respectivamente, ya que cada parte a evaluar tiene implicaciones propias por su naturaleza (componente físico, desarrollo de programa).

Figura 8. Interfaces dashboard de control: móvil –Raspberry-PC.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Indicadores de funcionalidad hardware.

ELEMENTO	CARACTERÍSTICA	OBSERVACIÓN
Sensórica y actuadores en campo	Las variables físicas críticas en el desarrollo del cultivo: caudal de riego constante, presión del agua de riego, temperatura del ambiente, humedad del cultivo, etc. Son acordes con la pertinencia de mantener las óptimas condiciones de supervivencia del cultivo, que las plantas no se deterioren por exceso o defecto de las condiciones requeridas de supervivencia. Se implementan sensores en campo que tengan salidas estándar análogas (4-20 mA) y que los actuadores (VDF) permitan la integración de estos.	El estándar de facto para conectar señales análogas es lazo cerrado de corriente (4-20 mA), pero también puede haber otras variantes, tales como 0-10 VDC, 0-20 mA, etc. Es fundamental que los actuadores y controladores tengan capacidad de aceptar estas señales con dichas otras formas.
Elemento de control y adquisición de datos	Toda la sensórica y actuadores instalados se comunican con el PLC que posee buses de campo para comunicación tanto con el actuador VDF (por medio de protocolo MODBUS RS-485, el cual recibe valor de set-point para el lazo de control PI integrado según requerimiento de irrigación) como de transmisión de información por medio de la conectividad web a través de interfaz ETHERNET. La modularidad y escalabilidad de este hardware de control permite flexibilidad por tener I/O análogas y digitales y los ya mencionados protocolos de comunicación.	El PLC como hardware de nodo central, debe soportar condiciones de humedad, calor y vibración intensos por estar en un ambiente no cerrado. Un cerramiento (gabinete) adecuado para intemperie es lo mínimo requerido para alojar el PLC.

ELEMENTO	CARACTERÍSTICA	OBSERVACIÓN
Comunicación de elementos en campo	En el cultivo remoto los sensores de presión, humedad, temperatura se conectan al PLC nodo por medio de lazos de corriente 4-20 mA (estándar de facto) y adicional, el VDF integra un controlador PI (proporcional-integral) propio para el lazo de control cerrado que simplifica la manutención de la presión de irrigación. Los instrumentos no dependen de un bus de campo propio, lo que permite mantener confiabilidad y flexibilidad para cambio o mejoras continuas. La comunicación MODBUS 485 se establece con velocidad de 19200 bps con lo que se tienen bajos retardos en comunicar comandos al actuador.	El muestreo de las señales análogas para este PLC se tasa en 100 ms por canal, a una resolución aprox. De 12 bit, lo que permite lecturas y respuestas casi inmediatas, aunque el tiempo de muestreo se incrementa conforme se usen más canales análogos para toma de información. La velocidad de comunicación puede ajustarse tanto en VDF como en PLC si la interferencia por cableado distorsiona la transmisión de datos.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Indicadores de funcionalidad software.

ELEMENTO	CARACTERÍSTICA	OBSERVACIÓN
Desempeño de redes - Internet	Es muy variable la velocidad de comunicación de la información que sale del cultivo remoto hacia la nube de integración de datos del IoT. Si bien la Raspberry PI 3B tiene puerto Ethernet para velocidad de hasta 100 Mbps, el cuello de botella se presenta en el acceso a internet (nube de datos). Por tratarse de cultivos en ubicaciones remotas se usan módems con conectividad red móvil (4G) que permiten velocidades de transmisión de 16,6 Mbps en promedio. La cantidad de datos es baja (tramas de señales de 28 MB/s) lo que permite una velocidad y respuesta satisfactorias para el requerimiento de tiempos de respuesta y visualización.	La baja latencia viene dada por la cantidad de información a transmitir; a mayor complejidad de datos mayor será la cantidad de ancho de banda que se debe tener disponible.
Facilidad de interacción con plataforma Web	La interfaz de supervisión y visualización se diseñó para ser lo más sencilla y práctica posible: permitiendo verificar los valores de las variables importantes de presión, temperatura, estado de actuador VDF (corriente, voltaje motor, presión de trabajo, fallas del equipo si se presentan, etc.) comandar la velocidad y la presión de trabajo desde la estación de mando usuario final hacia el PLC del cultivo remoto. En el lado del cultivo, el PLC cuenta con una HMI propia que permite visualizar en campo también los estados del VDF y valores de proceso de irrigación, si bien se da prioridad al uso de la interfaz remota.	El uso del <i>dashboard</i> de Ubidots simplifica la tarea de presentar y tomar la información y comandos para ambos lados del proceso, pero se pueden contemplar más opciones que se acomoden a los requerimientos de cada situación.

ELEMENTO	CARACTERÍSTICA	OBSERVACIÓN
Configuraciones de controles	El control de la presión de riego se implementa de manera local por medio de un controlador lazo cerrado PI (proporcional-integral) que permite programar las variables propias de dicho lazo: K _p (constante sin unidad de medida) y T _i (en segundos) (en los equipos VDF que poseen controlador de lazo cerrado se programa el tiempo integral T _i y no la constante K _i como se aplica en teoría de control). Valores típicos usados en estas aplicaciones: K _p =5.0 y T _i = 1 s. No obstante la sintonización de este lazo de control se hace una sola vez para el proceso y raramente debe ser ajustada, el control se enfoca más en visualizar variables de funcionamiento del VDF y de aquellas que infieren en el desarrollo de las plantas del cultivo (presión de agua, temperatura, humedad, etc.)	El usuario de forma remota puede dar comandos de arranque y paro de la bomba hidráulica, ajuste de valores de set-point presión y límite de velocidad, y visualización de la respuesta de variables análogas.

Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

La implementación de la solución propuesta para monitoreo de variables críticas en un cultivo remoto se realizó de manera satisfactoria, pudiendo visualizar los valores inmediatos de la irrigación en el mismo, con tiempos de respuesta correctos. Mejorando la velocidad de conexión a internet se pueden alcanzar velocidades de respuesta mayores que permitan una intervención del usuario final más apropiada.

La latencia en la respuesta de proceso del variador de frecuencia es un factor que retrasa la llegada de la información al usuario final, ya que este actuador al ejecutar el lazo de control de presión de agua junto con sus demás procesos, es un factor a tener en cuenta para la implementación de futuros

desarrollos; bien sea con equipos con mejores tiempos de proceso, o llevando los lazos de control al PLC instalado.

El proceso de articulación de la información entre la planta remota y el usuario final fue complejo, dado que la forma de llevar las variables del proceso desde el mismo hacia la nube de datos depende en gran medida de si se hará una implementación desde cero, o con equipos de control ya operativos: si se puede acceder a la programación del PLC conviene usar comunicación directa con protocolo embebido en modo cliente-servidor. Si no se puede variar la programación, usar arquitecturas tipo OPC (Open platform connectivity) es lo más práctico.

Si bien el proyecto expuesto cumple con lo solicitado por el cliente, queda como base para mejoras posibles a futuro teniendo en

cuenta los retos que este tipo de arquitecturas representa en la agricultura inteligente: “el hardware, el ‘cerebro’, el mantenimiento y la movilidad” [7], o tomando como base un proyecto ofrecido por la plataforma IoT ThingsBoard® diseñado especialmente para aplicaciones de agricultura inteligente [16].

La pandemia del COVID-19 ocurrida en el año 2020 nos dio importantes lecciones sobre el uso de soluciones robustas que permitan minimizar desplazamientos a locaciones remotas y/o de complejo acceso, y la importancia del IoT en el futuro del crecimiento sostenible y la manutención de recursos y procesos fundamentales para la humanidad, sin importar su progreso económico o social. [17]

Reconocimientos

Los autores reconocen el apoyo brindado por el Grupo de Investigación ROMA de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por permitir el desarrollo de este proyecto que involucra tecnologías IoT para ser exploradas y aplicadas en ámbitos industriales, sus aportes e ideas para la construcción del mismo.

Además, un reconocimiento póstumo al profesor Alfredo Chacón por sus aportes durante la etapa inicial de esta idea, su

dedición y empeño con sus estudiantes en proyectos de aplicaciones industriales.

También se agradece el apoyo de Manuel A. Machado quién con sus aportes y empeño permitieron llevar a buen término este escrito. Manuel Machado es candidato a PhD En la Universidad Nacional de Colombia.

Referencias

- [1] A. Daneels and W. Salter, “What is SCADA?,” in International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, 1999, pp. 339–343, Accessed: Sep. 20, 2019. [Online]. Available: <http://cds.cern.ch/record/532624/files/mc1i01.pdf>.
- [2] Wikipedia, “Distributed control system,” 2019. https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_control_system (accessed Sep. 29, 2019).
- [3] R. Hunzinger, Scada fundamentals and applications in the IoT, 1st ed. Wiley Telecom, 2017.
- [4] S. Ray, Y. Jin, and A. Raychowdhury, “The Changing Computing Paradigm with Internet of Things: A Tutorial Introduction,” IEEE Des. Test, vol. 33, no. 2, pp. 76–96, 2016, [doi: 10.1109/MDAT.2016.2526612](https://doi.org/10.1109/MDAT.2016.2526612).

- [5] A. Bhatia, Z. Yusuf, D. Ritter, and N. Hunke, "Who Will Win the IoT Platform Wars?," BCG Perspect., p. 6, 2017, [Online]. Available: https://image-src.bcg.com/Images/BCG-Who-Will-Win-the-IoT-Platform-Wars-June-2017_2_tcm58-162424.pdf.
- [6] L. Doron and Netafim, "The core results of the FIGARO project: the Platform," in International FIGARO Conference, 19 September 2016, Brussels, Belgium, 2016, [Online]. Available: http://www.figaro-irrigation.net/fileadmin/user_upload/figaro/docs/Lior%20NET%20FIGARO%20project%20summary.pdf.
- [7] A. (Eastern P. Chalimov, "IoT in Agriculture: 5 Technology Use Cases for Smart Farming (and 4 Challenges to Consider)," 2018. <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-5-technology-use-cases-for-smart-farming-and-4-challenges-to-consider/> (accessed Mar. 21, 2020).
- [8] L. Xiamen Ursalink Technology Co., "IoT-based Smart Irrigation," 2019. <https://www.ursalink.com/en/solution/agriculture/smart-irrigation> (accessed May 30, 2020).
- [9] O. Pandithurai, S. Aishwarya, B. Aparna, and K. Kavitha, "Agro-tech: A digital model for monitoring soil and crops using internet of things (IOT)," ICONSTEM 2017 - Proc. 3rd IEEE Int. Conf. Sci. Technol. Eng. Manag., vol. 2018-Janua, pp. 342–346, 2018, [doi:10.1109/ICONSTEM.2017.8261306](https://doi.org/10.1109/ICONSTEM.2017.8261306).
- [10] A. N. Nassar A. S., Montasser A.H., "Smart Aquaponics System for Industrial Internet of Things (IIoT)," Proc. Int. Conf. Adv. Intell. Syst. Informatics, vol. 639, no. 1, pp. 855–864, 2018, [doi:10.1007/978-3-319-64861-3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-64861-3).
- [11] R. Nageswara Rao and B. Sridhar, "IoT based smart crop-field monitoring and automation irrigation system," Proc. 2nd Int. Conf. Inven. Syst. Control. ICISC 2018, no. Icisc, pp. 478–483, 2018, [doi:10.1109/ICISC.2018.8399118](https://doi.org/10.1109/ICISC.2018.8399118).
- [12] S. Bakalis et al., "Perspectives from CO+RE: How COVID-19 changed our food systems and food security paradigms," Curr. Res. Food Sci., vol. 3, pp. 166–172, 2020, [doi:10.1016/j.crefs.2020.05.003](https://doi.org/10.1016/j.crefs.2020.05.003).
- [13] J. M. Talavera et al., "Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields," Comput. Electron. Agric., vol. 142, no. 118, pp. 283–297, 2017, [doi:10.1016/j.compag.2017.09.015](https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.09.015).
- [14] Wikipedia, "Druckschalter," Wikipedia, 2013. https://de.wikipedia.org/wiki/Druckschalter#/media/File:Druckschalter_PSD_3_0.jpg (accessed Jun. 30, 2020).
- [15] P. IoT, "PARTICLE IoT-BORON," 2019. <https://docs.particle.io/datasheets/cellular/>

- [ar/boron-datasheet/](https://www.semanticscience.org/resource/ar/boron-datasheet/) (accessed Oct. 19, 2019).
- [16] The ThingsBoard Authors, "Smart farming and smart agriculture solutions," ThingsBoard.io, 2020. <https://thingsboard.io/smart-farming/> (accessed Jun. 20, 2020).
- [17] A. Joseph Fernando, "How Africa Is Promoting Agricultural Innovations and Technologies amidst the COVID-19 Pandemic," Mol. Plant, vol. 13, no. 10, pp. 1345–1346, 2020, [doi:10.1016/j.molp.2020.08.003](https://doi.org/10.1016/j.molp.2020.08.003).