



XVII SIMPOSIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA (SIE-2017)

Monitoreo remoto y control para máquina de riego de pivote central empleando tecnología inalámbrica.

Remote monitoring and control for central pivot irrigation machine using wireless technology.

Lianet Avello Fernández¹, Eduardo Izaguirre Castellanos², Manuel Luciano Vidal Díaz³, Alain S. Martínez Laguardia⁴ y Luis Hernández Santana⁵

1-Lianet Avello Fernández. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba. E-mail: lavello@uclv.cu

2- Eduardo Izaguirre Castellanos. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba. E-mail: izaguirre@uclv.edu.cu

3- Manuel Luciano Vidal Díaz. Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA), Cuba. E-mail: l.vidal@inica.azcuba.cu

4-Alain S. Martínez Laguardia. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba. E-mail: amguardia@uclv.edu.cu

5-Luis Hernández Santana. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba. E-mail: luishs@uclv.edu.cu

Resumen: La disponibilidad de los recursos hídricos en la agricultura es una preocupación creciente en nuestro planeta. Las nuevas tecnologías de la automatización y las comunicaciones ofrecen un conjunto de soluciones para la recolección y análisis de información que posibilitan la toma de decisiones en los sistemas modernos de irrigación agrícola. Por esta razón se han dado importantes pasos en la automatización de los sistemas de riego, enfocados a la determinación de los requerimientos adecuados de agua en los cultivos, lo cual incide positivamente en el ahorro de portadores energéticos, recursos hídricos, y aumento de la productividad agrícola. Este sentido en el presente trabajo se realiza una propuesta de un sistema de control y supervisión en tiempo real, permitiendo la operación y monitoreo remoto de máquinas de riego de pivote central. Para ello se emplea un autómata programable y tecnología de





comunicación inalámbrica de acuerdo a las exigencias y características del contexto de aplicación agrícola.

Abstract: *The availability of water resources in agriculture is a growing concern throughout the planet. The new technologies of automation and communications offer a set of solutions for the collection and analysis of information that make possible the decision making in the modern systems of agricultural irrigation. For this reason, important steps have been taken in the automation of irrigation systems, focused on the adequate determination of water requirements in crops, which has a positive effect on the saving of energy carriers, water resources, and agricultural productivity. Due to this, in the present work a proposal is made for a real-time control and monitoring system, allowing the operation and remote monitoring of irrigation machines of center pivot. For this, a programmable logic controller and wireless communication technology are used according to the requirements and characteristics of the context of agricultural application.*

Palabras Clave: Supervisión Remota; Máquina de Riego de Pivote Central; Autómata Programable; Tecnología Inalámbrica.

Keywords: *Remote Monitoring; Center Pivot Irrigation Machine; Programmable Logic Controller; Wireless Technology.*

1. Introducción

La agricultura en Cuba es un sector decisivo y estratégico para la economía por lo que el uso racional y eficiente del agua y portadores energéticos en esta rama constituye uno de los renglones más priorizados en la política del país. En los últimos años, Cuba ha experimentado períodos cada vez más prolongados de sequía y existe la tendencia a ser más extensos producto de los cambios climáticos (Martínez, 2017; Vázquez and Solano, 2013). Lograr una mayor eficiencia en el ahorro y sostenibilidad de los recursos hídricos y energéticos en la agricultura, depende en gran medida del manejo adecuado de los sistemas de riego. En este sentido, el gobierno cubano pretende incrementar las superficies bajo riego incluyendo el montaje de nuevas máquinas de riego de pivote central eléctricas que se caracterizan por su alta eficiencia de riego (Clavelo and Seguí,





2012). Debido a esto, se han desarrollado importantes programas de inversiones para la fabricación y adquisición de equipamientos modernos que integran las nuevas tecnologías de automatización, control y comunicaciones, con el objetivo de tomar mejores decisiones para desarrollar una agricultura sostenible y productiva (Espinosa, 2011).

Entre las técnicas existentes para el adecuado manejo del agua en la agricultura de regadío está la programación de riegos, la cual permite identificar el momento y la cuantía en cada riego. Además, permite alcanzar altos niveles de eficiencia en el uso del agua, la energía y los fertilizantes, reducir los costos de producción y el consumo del agua (Adeyemi et al., 2017).

En este contexto, se destacan las máquinas de pivote central que cuentan con un nivel apreciable de automatización, resultado de los avances tecnológicos alcanzados en los últimos tiempos en el sector agrícola. En el mundo existen varias empresas productoras de este tipo de tecnología; sus productos incluyen sistemas que controlan el funcionamiento total del equipo desde un panel central o a través de acceso remoto. Estas empresas han desarrollado sistemas sensoriales, controladores y protocolos de comunicación para satisfacer los requerimientos que impone el riego de acuerdo al contexto específico de aplicación. Tal es el caso de la "IRRIMEC", "Cuñat Agrocaja", "Valley Irrigation" entre otras (Reductores CUÑAT S.A., 2017; Reinke Irrigation, 2017; Valley Irrigation, 2017). No obstante, el costo de estas tecnologías es alto.

En Cuba se han importado varias máquinas de pivote central, que se han demostrado su alta eficiencia en numerosos tipos cultivos (Espinosa, 2011); existiendo además la Fábrica Mecánica de Bayamo (EMBA) que se dedica a la producción nacional de estos sistemas de riego con el objetivo de disminuir las importaciones y reducir los costos de inversión (Tornés et al., 2009).

Específicamente en las máquinas de riego de pivote central, la selección de la tecnología de comunicación para la operación remota y control de las mismas constituye un aspecto importante a considerar, dado que garantiza una mejor explotación y supervisión de la máquina. En el contexto agrícola, las comunicaciones inalámbricas desempeñan un papel cada vez más importante ya que permiten servicios de transmisión de información a largo alcance, imposibles de implementar utilizando cables. (Kranz et al., 2010; Raine et al., 2011). En ello influyen la topografía local, regional y el costo de





la tecnología a emplear que garanticen la fiabilidad del sistema de supervisión (Pfitscher et al., 2011).

Entre los diferentes métodos de transmisión inalámbrica que se aplican en la agricultura, se encuentran las redes de sensores basados en comunicación mediante radiofrecuencia (RF), redes Wifi, Bluetooth, así como la utilización de telefonía móvil GSM (Global System for Mobile Communications) y servicio GPRS (General Packet Radio Service). Este último posibilita la transferencia de grandes volúmenes de datos a alta velocidades. Los equipos de comunicación tales como teléfonos celulares, radios satelitales y sistemas basados en estos protocolos de comunicación permiten al operador consultar el panel de control principal o la computadora base desde cualquier ubicación en cualquier momento (Dong et al., 2013) (Chávez et al., 2010; Pavithra and Srinath, 2014).

No obstante, a pesar de los esfuerzos realizados en Cuba, el control de los sistemas de riego no está automatizado, la programación del riego continúa siendo empírica, y se reportan bajos porcentos de eficiencia del riego (Clavelo and Seguí, 2012).

Luego, dadas las características actuales en el contexto de aplicación de estas máquinas de riego, nos enfrentamos al desafío que impone el empleo de transmisión inalámbrica y de la supervisión de su operación. Ello implica, que a pesar de existir en el sector agrícola de nuestro país, numerosas máquinas de pivote central en explotación, no se encuentra implementado un sistema que posibilite supervisar en tiempo real y de manera remota la operación de estas máquinas. En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo proponer una solución de control mediante autómata programable y supervisión remota utilizando tecnología inalámbrica para la operación automatizada de máquinas de riego de pivote central.

2. Metodología

Existen diferentes métodos de riego entre los cuales figura el riego superficial, localizado y por aspersión. Las máquinas de riego de pivote central (Figura 1) utilizan tecnologías de irrigación por aspersión, garantizando una eficiencia del riego de hasta el 80 % (García and Estrada, 2012; Rodríguez García and López Seija, 2014). Estas se componen de una torre central, y un variado número de tramos estructurales con sus correspondientes torres móviles. La máquina riega en forma circular donde las boquillas difusoras se seleccionan apropiadamente para cada tramo en cuestión (Tarjuelo, 2005). Como el caudal del pivote es constante, a mayor velocidad de giro de





la máquina, el agua aplicada por unidad de superficie, es menor. Por consiguiente, la cantidad de agua a aplicar se controla en función de la velocidad de la máquina (Zavala, 2010).

Entre las ventajas que ofrece el riego basado en máquinas de pivote central, tenemos la posibilidad de aplicar riegos frecuentes (diarios) contribuyendo a un mejor manejo del agua y nutrientes. Permiten la aplicación de fertilizantes, más conocido como proceso de ferti-irrigación disminuyendo el uso de otras maquinarias externas. Es un sistema que trabaja a baja presión por lo cual requiere menor gasto de energía.



Figura 1. Máquina de Riego de Pivote Central (Valley Irrigation, 2017).

El poder modificar la pluviometría permite al sistema adaptarse a distinto tipo de suelo y cultivo. Sin embargo, estas máquinas también poseen algunas desventajas como son: el alto costo inicial; la demanda de operadores calificados para obtener un uso eficiente del agua; al ser un sistema de riego circular debe prepararse el terreno de forma adecuada o puede perderse superficie de riego en las esquinas (Zavala, 2010).

Actualmente las propias máquinas estándar de riego de pivote central, poseen un nivel de automatización elemental muy propio de sus funciones de trabajo para ser controladas por un operador. Poseen un panel de control desde donde se efectúa el arranque y parada de la máquina, la selección del modo de funcionamiento del sistema (manual-automático), selección del sentido de rotación y velocidad de giro, entre sus funciones fundamentales (Figura 2). En el modo automático se concibe la condición de no permitir que la máquina trabaje si el motor de la bomba no está entregando el agua, para no girar en seco. También se concibe que si la máquina se detiene debe pararse el bombeo de agua para no regar sobre un mismo punto. El tiempo de funcionamiento se controla mediante un relé porcentual que se ajusta a la norma de riego deseada. Existen otros automatismos básicos como es el ajuste del presostato para un rango de presión

determinada, la medición del voltaje y protección de los límites de tensión permisibles, etc. (Tarjuelo, 2005; Zavala, 2010).

En la literatura se encuentran reportadas numerosas publicaciones donde se emplean los autómatas programables (PLC) para el control del riego. Esta tecnología se caracteriza por su alta fiabilidad y robustez, además de proporcionar facilidades para la comunicación industrial, ya sea cableada o inalámbrica (Maheshwari and Sindha, 2014).



Figura 2. Ejemplo de panel de control de una máquina de pivote central (HYDRUS, 2017).

Entre los fabricantes de estos dispositivos, más comercializados en Cuba se encuentra la firma Schneider Electric, la cual posee toda una gama de autómatas para disímiles aplicaciones de control. El autómata TM241CE40R de esta firma, se encuentra entre los más utilizados ya que está diseñado para controlar máquinas modulares de alto rendimiento mediante la incorporación de funciones de control de movimiento y velocidad (Schneider Electric, 2017). Sus características principales se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1 Características del PLC TM241CE40R

Tensión de alimentación	100-240 V
No. y tipo de Entradas	24 entradas PNP/NPN de 24 V, incluye 8 entradas rápidas.
No. y tipo de Salidas	16 salidas: con 4 salidas rápidas de transistor PNP y 12 salidas de relé.
Comunicación	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Puerto Ethernet • Modbus TCP (cliente y servidor), Modbus TCP esclavo, cliente de DHCP, programación, descarga, monitorización • Actualización de firmware, intercambio de datos.



	NGVL e IEC VAR ACCESS, servidor web, adaptador Ethernet IP, administración de red SNMP MIB2, transferencia de archivos FTP
Conexión Serie	2 puertos serie: <ul style="list-style-type: none">• 1 puerto SL1 (RJ45), RS232/485 con alimentación de +5 V• 1 puerto SL2 (bornero con tornillos) RS485
Control de Procesos	PID
Control de Movimiento	4 salidas de control de movimiento: <ul style="list-style-type: none">• Tren de pulsos P/D, CW y CCW (PTO) con perfil trapezoidal y curva S, frecuencia 100 kHz• Modulación de ancho de pulsos (PWM)• Generador de frecuencias (FG)
Módulos de Comunicación	<ul style="list-style-type: none">• 1 módulo Modicon TM4 con switch de 4 puertos Ethernet• 1 módulo Modicon TM4 para comunicación Profibus DP esclavo
Software de Programación	SoMachine

3. Resultados y discusión

Teniendo en cuenta la funcionalidad incorporada en el autómata TM241CE40R de disponer de un puerto Ethernet integrado que ofrece servicios de FTP y un Servidor Web, se propone el diseño (empleando el propio software de programación del PLC) de una visualización web en formato HTML5, que garantice la supervisión y operación remota de la máquina de riego de pivote central en tiempo real. La aplicación de este tipo de formato de páginas web permite la fácil integración de sistemas de control con la supervisión remota de maquinarias, mediante aplicaciones para teléfonos inteligentes, tabletas y computadoras; característica que lo hace ideal para su utilización en el contexto del tipo de aplicación agrícola característico de este trabajo.

En este sentido se propone como primer paso implementar la solución para el control y supervisión remota de la máquina de riego de pivote central, empleando la arquitectura general se muestra en la Figura 3.



Dadas las dificultades obvias de la comunicación cableada en aplicaciones agrícolas, se propone una solución de transmisión inalámbrica económicamente factible, aprovechando las posibilidades que brinda el autómata programable seleccionado de operar como Servidor Web y la disponibilidad de sus recursos de hardware y software.



Figura 3. Arquitectura para el control y supervisión remota de máquina de riego de pivote central (elaboración propia).

El PLC estará ubicado en la estación local físicamente cercano al panel de control de la máquina de riego. El mismo se programa para controlar las funciones de riego, estando las entradas/ salidas debidamente configuradas y conectadas a los dispositivos de mando y accionamiento, dispuestos en el panel de control de la propia máquina, el cual no sufre modificaciones sustanciales respecto a su diseño original. En la memoria interna del autómata se pueden almacenar los resultados históricos de las variables relacionadas con el riego, como por ejemplo: horas de riego, velocidad de la máquina, frecuencia de riego, cantidad de giros de la máquina durante el riego, u otras que decida el cliente incorporar.

Para la transmisión de los datos se empleará un router inalámbrico conectado mediante un cable RJ45 mini-USB al puerto Ethernet del PLC, el mismo se configura como punto de acceso WiFi (Access point) empleando protocolo de comunicación TCP/IP, para lo cual se fija el correspondiente valor del IP de la estación PLC, cuya página web puede ser accedida desde cualquier otro dispositivo inalámbrico ubicado dentro de su radio de cobertura.



Luego, el control y supervisión de los parámetros de riego podrá realizarse desde una estación remota, utilizando dispositivos móviles inteligentes, tabletas o computadoras portátiles, buscando flexibilidad de acuerdo a las posibilidades y necesidades del cliente. También se podrá operar desde la propia estación local, donde se tendrá acceso al PLC y su configuración.

Esta información podrá ser mostrada en una página web diseñada a la medida para cada máquina en específico, o para un conjunto de ellas, brindando la capacidad de procesar los datos de riego para la toma de decisiones de acuerdo al contexto de aplicación (tipo de cultivo, disponibilidad de los recursos hídricos, necesidades de mantenimiento, etc.)

Visualización Web

En función de la solución propuesta se diseña la Interfaz Gráfica de Usuario que se muestra en la Figura 4. La programación de sus elementos visuales y enlaces dinámicos con las variables del sistema, se realiza mediante el software SoMachine V4.1 SP2 del propio PLC.

Entre las funcionalidades que brinda la interfaz se encuentran las siguientes:

- Selección del tiempo de trabajo de la máquina. Ajustable según la norma de riego establecida.
- Registro de tiempo de funcionamiento. Permite medir mediante un contador de horas el tiempo de operación de la máquina
- Selección del régimen de trabajo. Se realiza gracias a botones selectores que permiten distinguir el modo manual-automático del funcionamiento de la máquina.
- Selección del sentido de giro de la máquina.
- Supervisión de la tensión de alimentación del motor, a través de un voltímetro que permite comprobar los límites y estado actual de la tensión de alimentación del motor.
- Funcionalidades de operación. Incluye botones de arranque y parada de la máquina y un interruptor para encender o apagar la luz interior y demás.
- Indicadores que permiten visualizar a través de lámparas indicadoras, el estado actual de parámetros establecidos previamente.

La funcionalidad del sistema supervisorio, los reportes, históricos, alarmas, información a mostrar, entre otros elementos, estarán en dependencia de las necesidades del usuario,



y de las posibilidades de comunicación existentes en cada entidad donde se implante el sistema, lo cual brinda flexibilidad a la solución propuesta.



Figura 4. Interfaz web para la supervisión y control del riego en máquinas de pivote central (elaboración propia).

4. Conclusiones

La propuesta de automatización y control inalámbrico para máquinas de riego de pivote central garantiza un seguimiento por parte de directivos y operadores del estado de funcionamiento de las máquinas, contribuyendo a lograr una mayor eficiencia en cuanto al ahorro del agua y la energía en los sistemas de irrigación agrícola en Cuba.

La solución de control remoto basada en tecnología inalámbrica, permite la visualización y operación de las máquinas a través de páginas web, pudiendo acceder a la misma desde variados dispositivos, tales como celulares, tabletas, ordenadores etc.

En dependencia de las facilidades y prestaciones en cuanto a la comunicación, que pudieran existir en el lugar de aplicación de nuestra propuesta, se puede adaptar al empleo de otras tecnologías, por ejemplo: servicio GPRS (en telefonía móvil), transmisión de la información en la banda de UHF, enlace mediante radio modem, entre otras. Ello brinda un alto nivel de flexibilidad y aplicabilidad a la presente investigación.



5. Referencias bibliográficas

1. Adeyemi, O., Grove, I., Peets, S., Norton, T., 2017. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. *Sustainability* 9, 353.
2. Chávez, J.L., Pierce, F.J., Elliott, T.V., Evans, R.G., 2010. A remote irrigation monitoring and control system for continuous move systems. Part A: Description and development. *Precision agriculture* 11, 1–10.
3. Clavelo, J.L.A., Seguí, J.P., 2012. Programación del riego de la caña de azúcar en la provincia de Villa Clara, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 21, 61–66.
4. Dong, X., Vuran, M.C., Irmak, S., 2013. Autonomous precision agriculture through integration of wireless underground sensor networks with center pivot irrigation systems. *Ad Hoc Networks* 11, 1975–1987.
5. Espinosa, E.R.J., 2011. Parámetros de explotación y uniformidad de riego en la máquina de pivote central OTECH-IRRIMEC. *Revista Ingeniería Agrícola* 1, 7–12.
6. García, M.R.R., Estrada, O.P., 2012. Comportamiento hidráulico de los sistemas de riego por goteo superficial y sub superficial. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 21, 23–28.
7. HYDRUS, 2017. Hydrus Center Pivot Irrigation-Electronics 2300 Main Control Panel [WWW Document]. URL www.hydrus.co.za/2300-control-panel.php (accessed 6.23.17).
8. Kranz, W.L., Evans, R.G., Lamm, F.R., O'Shaughnessy, S.A., Peters, T.R., 2010. A Review of Center Pivot Irrigation Control and Automation Technologies, in: 5th National Decennial Irrigation Conference Proceedings, 5-8 December 2010, Phoenix Convention Center, Phoenix, Arizona USA. American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 1.
9. Maheshwari, C.V., Sindha, D., 2014. Water Irrigation System Using Controller. *International Journal of Advanced Technology in Eng. and Science* Vol. 2.
10. Martínez, O.G., 2017. La Cuba moderniza sistemas de riego. GRANMA, Órgano Oficial del Comité Central del PCC.



11. Pavithra, D.S., Srinath, M.S., 2014. GSM based automatic irrigation control system for efficient use of resources and crop planning by using an Android mobile. IOSR-JMCE 11, 49–55.
12. Pedroso, B.L., Vázquez, R.J., Rivera, C.F., 2015. El peligro integrado por sequía meteorológica y agrícola. Revista Cubana de Meteorología 21.
13. Pfitscher, L.L., Bernardon, D.P., Kopp, L.M., Ferreira, A.A.B., Heckler, M.V.T., Thome, B.A., Montani, P.D.B., Fagundes, D.R., 2011. An automated irrigation system for rice cropping with remote supervision, in: 2011 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives.
14. Raine, S.R., Smith, R.J., Baillie, C.P., McCarthy, A.C., Baillie, J.N., 2011. Review of Precision Irrigation Technologies and their Application.
15. Reductores CUÑAT S.A., 2017. Cuñat Agrocaja, Pivots de Riego [WWW Document]. URL www.reductorescunat.es/pivots.html (accessed 6.21.17).
16. Reinke Irrigation, 2017. Reinke Pivots [WWW Document]. URL skoneirrigation.com/reinke-pivots/ (accessed 6.21.17).
17. Rodríguez García, M.R., López Seija, T., 2014. Comportamiento de la zona radical activa del banano en un Ferrasol bajo riego por goteo superficial y subsuperficial. Revista ciencias técnicas agropecuarias 23, 5–10.
18. Schneider Electric, 2017. Automatización de máquinas y procesos. Schneider Electric.
19. Tarjuelo, J.M., 2005. El riego por aspersión y su tecnología. Madri: Mundi-Prensa.
20. Tornés, N., Pujol, P., Gómez, Y., Boicet, T., Cintra Goite, L., 2009. Evaluación de la calidad del riego en máquinas eléctricas de pivote central del modelo o tipo Ballama. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 18.
21. Valley Irrigation, 2017. Irrigation Products Leading the Industry with Advanced Irrigation Systems [WWW Document]. URL <http://www.valleyirrigation.com/valley-irrigation/us/irrigation-products> (accessed 6.21.17).
22. Vázquez, R.J., Solano, O.J., 2013. Determinación del peligro por sequía agrícola. Revista Cubana de Meteorología 19, 154–168.
23. Zavala, J.I.P., 2010. Diseño agronómico de un sistema de pivote central en la pequeña propiedad los arenales.

