



XVII SIMPOSIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Infraestructura de comunicación para soportar red segura inalámbrica para supervisión de sistema de riego agrícola con PLC

Communication infrastructure to support secure wireless network for supervision of agricultural irrigation system with PLC

**Samuel Alejandro Rodríguez Beceiro¹, Astroberto Cárdenas Orfila², Liber Jorge
Rodríguez Milián³, Eduardo Izaguirre Castellanos⁴, Lianet Avello Fernández⁵,
Juan Alberto Pozo Díaz⁶**

- 1- Samuel Alejandro Rodríguez Beceiro, Empresa de la Informática y las Comunicaciones del MINAG, Villa Clara, Cuba, E-mail: telematica1@vcl.eicma.cu
- 2- Astroberto Cárdenas Orfila, Empresa de la Informática y las Comunicaciones del MINAG, Villa Clara, Cuba, E-mail: eplicaciones@vcl.eicma.cu
- 3- Liber Jorge Rodríguez Milián, Empresa de la Informática y las Comunicaciones del MINAG, Villa Clara, Cuba, E-mail: director@vcl.eicma.cu
- 4- Eduardo Izaguirre Castellanos, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, E-mail: izaguirre@uclv.edu.cu
- 5- Lianet Avello Fernández, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, E-mail: izaguirre@uclv.edu.cu
- 6- Juan Alberto Pozo Díaz, Empresa Agropecuaria Valle del Yabú, Cuba, E-mail: jpdiaz@uclv.cu

Resumen: El empleo de la automatización y de las novedosas tecnologías de la informática y las comunicaciones en los sistemas de riego agrícola es una tendencia mundial en notable incremento, donde muchas aplicaciones se basan en el empleo de la comunicación inalámbrica dada sus ventajas en el ámbito agrícola. En este trabajo se presenta la propuesta de una infraestructura de comunicación para soportar una red inalámbrica segura donde se conecta un autómata programable, diseñado para supervisar y controlar en tiempo real la operación de una máquina de riego de pivote central de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú. En este sentido, se plantea una



solución muy acorde a las exigencias y características asociadas a un contexto de aplicación agrícola, donde se diseña la estructura lógica y física de la red para el acceso a la administración, estadísticas y datos que brinda el PLC de forma segura y estable. El diseño propuesto se valida mediante pruebas experimentales, demostrando la factibilidad de su funcionamiento, lográndose finalmente implementar la aplicación web en cuestión, que se inserta de manera fiable dentro de los servicios que brinda la VPN del MINAG.

Abstract: The use of automation and the technologies of informatics and communications in the irrigation systems is a world tendency in notably increment; many applications are based on wireless communications according with its advantages in the agricultural context. In this work the communication infrastructure to support secure wireless network is proposed. The programmable logic controller is connected in the secure network in order to provide the control and supervision in real time of the operation of central pivot irrigation machine located in the Agricultural Enterprise "Yabú Valley". In this case, the proposed solution responds to the requirements and characteristics of the context of agricultural application. The physical and logic structure of the network are both designed in order to obtain the secure and stable access of administration tools, statistics and data giving by the PLC. The proposed design is validated by the experimental results where the feasibility and well-functioning of the network was demonstrated. Finally, the implementation of the supervisory system based on PLC web server is connected to the services offered by the VPN of MINAG

Palabras Claves: red de comunicación segura; comunicación inalámbrica; autómatas programables; riego.

Keywords: secure communication network; wireless communication; PLC; irrigation

1. Introducción

La agricultura representa un significativo aporte al desarrollo económico y social de cualquier país, donde la introducción de eficientes sistemas de riego, no solo es garantía



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

de la calidad y productividad de las cosechas, sino que también incide positivamente en el ahorro de portadores energéticos y de los ya escasos recursos hídricos (Izaguirre Castellanos and Rodríguez Rodríguez, 2016).

Es por ello que en nuestro país se han venido generalizando tecnologías novedosas de riego dirigidas al propiciar el uso racional del agua y la energía. Sin embargo, recientes estudios publicados por investigadores cubanos, demuestran la baja eficiencia que aún caracteriza el riego en Cuba (Avalos-Clavelo and Pacheco-Seguí, 2012). De aquí la enorme importancia que reviste no solo la incorporación de las novedosas tecnologías en el riego agrícola, sino también su adecuada y eficiente explotación, donde el papel de la automática y los sistemas de monitoreo y supervisión juegan un rol protagónico (Kranz, 2011, Montoya et al., 2013).

Desde el punto de vista del control automatizado, la correcta operación de un sistema de irrigación debe considerar la correspondencia entre la cantidad de agua que se aporta al suelo (o a la zona de la raíz de la planta) y la cantidad de agua requerida para el correcto crecimiento del cultivo. Por consiguiente, una de las funciones principales que debe cumplir todo sistema de riego automatizado radica en garantizar la adecuada administración de la tecnología de riego que se emplea. A ello se suman otras importantes tareas como operación remota, supervisión y control de los parámetros asociados con el riego, así como la medición de las variables que permiten disponer de la información necesaria para llevar a cabo la administración del riego, tanto para directivos, como especialistas, y operadores en general (Ruiz-Canales and Ferrández-Villena, 2015, Singh and Sharma, 2012).

Bajo estas premisas, una de las tecnologías de riego que se han venido generalizando en nuestro país en los últimos años, lo constituyen las máquinas de riego de pivote central, que cuentan con un nivel aceptable de automatización, pero que nos están exentas de irregularidades en su manejo y explotación, lo cual afecta la eficiencia de riego que las caracteriza (Avalos-Clavelo and Pacheco-Seguí, 2012, Izaguirre Castellanos and Rodríguez Rodríguez, 2016).



Dadas las características del sector agrícola, se ha generalizado el empleo de las tecnologías de transmisión inalámbricas en sus más diversas aplicaciones, donde por excelencia se destacan las relacionadas con el riego (J Gutiérrez et al., 2014, Yahide et al., 2015). De manera particular, se pueden apreciar numerosas publicaciones donde se utilizan los estándares de comunicación Zigbee, Bluetooth y Wifi, siendo esta última una de las más empleadas dada sus ventajas en relación con la velocidad de transmisión de datos, capacidad de crear redes de cualquier topología y tamaño, y posibilidad de poder cifrar la información (Bansal and Reddy, 2013, Castillejo Erviti, 2013). Esta tecnología permite transmisiones de datos entre 11 y 54 Mbps, operando en las bandas de radio de 2,4 - 2,5 GHz.

En este trabajo se realiza el diseño de la infraestructura de comunicación inalámbrica para soportar una red segura donde se emplea un autómata programable industrial (PLC), específicamente configurado y programado para supervisar y controlar en tiempo real la operación de una máquina de riego de pivote central. Se explota la funcionalidad del PLC de disponer de un servidor web, planteándose una solución acorde a las exigencias y características asociadas a un contexto de aplicación agrícola, de una máquina de riego ubicada en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú. Se realizan pruebas de campo que demuestran el funcionamiento correcto del sistema, con la seguridad y robustez exigidas para este tipo de aplicación agrícola.

2. Descripción de la propuesta

Como elemento controlador y servidor web se emplea un autómata programable TM241CE40R de Schneider Electric, utilizándose el puerto Ethernet integrado en el mismo, para a través de la conexión con un punto de acceso inalámbrico mostrar una visualización web, diseñada específicamente para la supervisión y operación remota de la máquina de riego objeto de estudio. Un punto de acceso inalámbrico se conecta mediante un cable RJ45 mini-USB al puerto Ethernet del PLC, el mismo se configura como punto de acceso WiFi empleando protocolo de comunicación TCP/IP, para lo cual se fija el correspondiente valor del IP de la estación PLC. El sistema supervisorio se diseña en forma de páginas web y puede ser accedido desde cualquier dispositivo inalámbrico. La arquitectura general del sistema se muestra en la figura 1.

El control y supervisión de los parámetros de riego puede 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. Esta información se muestra 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.)



Figura 1. Arquitectura general del sistema de comunicación inalámbrico.

El PLC se ubica 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 autómatas 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.



En dependencia de las facilidades y prestaciones en cuanto a la comunicación, que pudieran existir en el lugar de aplicación, se puede adaptar al empleo varios tipos de tecnologías, por ejemplo: servicio GPRS (en telefonía móvil), transmisión de la información en la banda de UHF, enlace mediante radio modem, Zigbee, Bluetooth, y Wifi,. Ello brinda un alto nivel de flexibilidad y aplicabilidad a la presente investigación (Avello-Fernández et al., 2018). No obstante en el caso particular de la implementación del sistema en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú, se decide el empleo de la tecnología inalámbrica Wifi, por las ventajas de la misma antes mencionada, y dada la facilidad de instalación de este tipo de infraestructura inalámbrica en esta entidad en particular (Rodríguez Beceiro et al., 2018).

Controlador lógico programable como servidor Web.

El PLC utilizado dispone de un puerto Ethernet integrado que sirve para ofrecer servicios de FTP y Servidor Web, funcionalidades que tiene incorporado dicho dispositivo de hardware. Gracias al diseño efectuado desde el propio software de programación del PLC, se genera una visualización web en formato HTML5, que posibilita la supervisión y operación remota de la máquina de riego. También dispone de una interfaz web por defecto para su administración, soportada sobre el protocolo HTTP (no seguro), el cual presenta elevados niveles de vulnerabilidad.

La aplicación de este tipo de formato de páginas web tiene la ventaja que permite la fácil integración de sistemas de control con la supervisión remota de maquinarias, mediante aplicaciones que se pueden diseñar para visualizarse en 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. No obstante se presenta el inconveniente de que los niveles de seguridad con que se dispone no resultan admisibles para la implementación de sistemas tan importantes, constituyendo un reto para el diseño lógico y físico de la aplicación agrícola que se propone.



Estructura de lógica de la red

En este contexto se decide el empleo del protocolo HTTPS (protocolo seguro de transferencia de hipertexto). El mismo utiliza un cifrado basado en SSL/TLS para crear un canal cifrado, muy utilizado en aplicaciones que requieren de seguridad, como es el caso de entidades bancarias, tiendas en línea, y cualquier otro tipo de servicio que requiera el envío de datos personales o contraseñas (Singhal et al., 2011). Luego, el acceso al servidor web que brinda información del estado de operación de la máquina de riego hace uso de este protocolo (HTTPS) utilizando como proxy inverso NGINX. La petición del enlace del cliente se solicita por el puerto 80 de dicho servidor, este redirecciona al puerto 443 que es un puerto seguro, por donde se establece la conexión con el cliente. Entre el servidor NGINX y el PLC la conexión se efectúa por el puerto 8080 (ver figura 3).

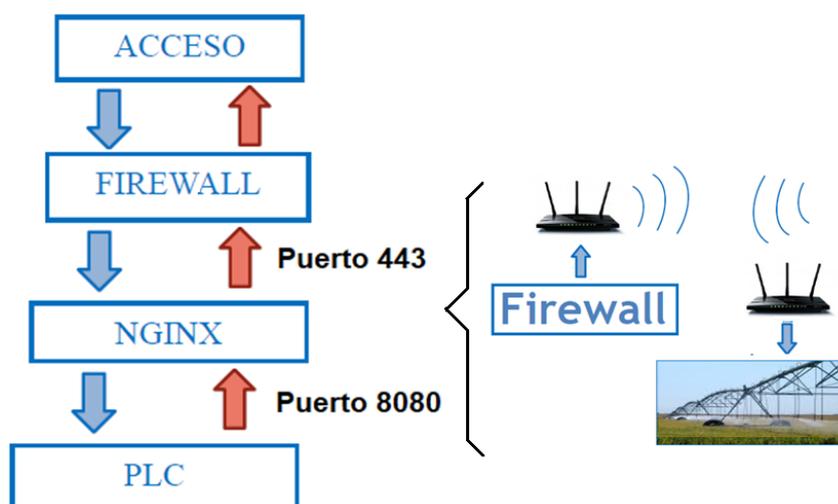


Figura 2. Ilustración de acceso al PLC a través del cortafuego del NGINX.

Estructura física de la red

La distancia del nodo de comunicación ubicado en la Empresa Valle del Yabú y la accidentada geografía hasta la maquinaria de riego controlada por el PLC representa todo un desafío imposible de implementar en la práctica con una red cableada. Por lo tanto la propuesta de solución es conectar un enrutador inalámbrico al cortafuego (firewall) del nodo, a su vez este se enlaza a un segundo enrutador inalámbrico que se conecta físicamente al puerto Ethernet del PLC empleando cable trenzado con conector



RJ45. El PLC está debidamente configurado para a través de sus entradas digitales recibir las correspondientes señales relacionadas con la operación de la máquina de riego, que van a ser mostradas en el sistema supervisorio. También se incorporan acciones de mando, para arrancar/parar y modificar la velocidad o tiempo de riego.

Para lograr la conexión se instala en la torre de radiocomunicaciones de la empresa un NanoStation®M2 en modo Punto de Acceso a una altura de 15 metros sobre el nivel del mar, al que se conectará otro NanoStation®M2 en modo Cliente que estará situado en un punto intermedio entre las máquinas de riego y la empresa, este segundo NanoStation®M2 se ubica a 5 km del nodo de la empresa y a una altura de 6 metros.

Para las pruebas experimentales se utiliza como punto de enlace inalámbrico un Ubiquiti NanoStation®M2 NSM2, que opera en el rango de frecuencias de 2.32 a 2.55 GHz, el cual posee una antena de 11 dB de ganancia, para un alcance máximo de 15 km, a una velocidad máxima de 300 Mbps, y con una potencia de transmisión de 27 dBm.

3. Resultados y discusión

Para la validación del diseño se procedió a efectuar las correspondientes pruebas de campo. La primera prueba experimental consistió en efectuar la conexión directa del PLC con la Máquina de Riego de Pivote Central para comprobar el accionamiento remoto del sistema vía inalámbrica. Esta prueba inicial se llevó a cabo en la UEB azucarera "Carlos Baliño", municipio Santo Domingo, en la provincia de Villa Clara. Se pudo lograr la interconexión del panel de control de una máquina de riego de pivote central con una maqueta de un TM241CE40R de Schneider Electric, debidamente configurado y conectado a un dispositivo de acceso inalámbrico tipo TP-Link.

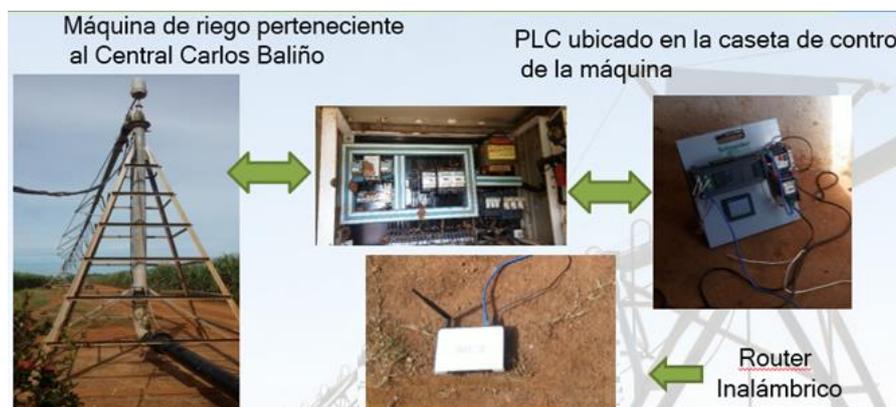




Figura 3. Conexión del panel de mando de la máquina de riego con el PLC, para el accionamiento remoto inalámbrico del sistema de riego.

Se comprueba como indistintamente los operadores y directivos efectuaban el adecuado accionamiento (arranque-parada) de la máquina de riego en tiempo real y de forma remota desde sus teléfonos celulares, observándose en estos terminales la interfaz gráfica con la visualización web diseñada, a la cual era posible acceder mediante previa conexión Wifi a una determinada dirección URL predefinida para el enlace inalámbrico. La figura 3 muestra el esquema general del sistema empleado en esta prueba de campo.

La segunda prueba experimental persigue el objetivo de comprobar la comunicación remota vía a mayor distancia y con el sistema supervisorio diseñado conectado a una subred creada para tal efecto, que estaría integrada a la VPN del MINAG. Se lleva a cabo en la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú, municipio Santa Clara, provincia Villa Clara, entidad seleccionada para generalizar la aplicación, dada la posibilidad de garantizar la cobertura inalámbrica de todas las máquinas de riego. En este caso se logra exitosamente establecer la comunicación remota, entre dos puntos de acceso inalámbrico geográficamente distantes, uno ubicado en el edificio de la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú, y otro en el PLC TM241CE40R ubicado a una distancia aproximada de dos kilómetros. En la figura 4 se ilustra un esquema de la arquitectura empleada para la red segura.

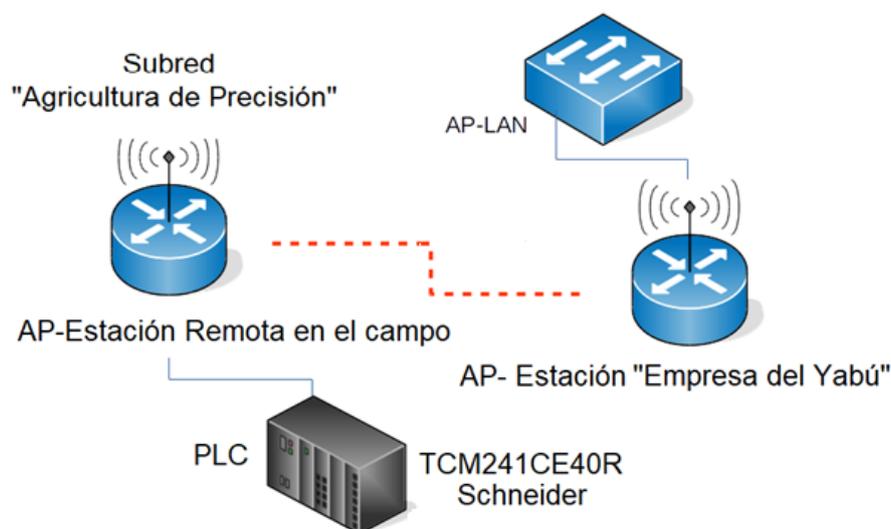


Figura 4. Arquitectura de la interconexión inalámbrica con diseño de red segura.



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

Se comprueba la correcta configuración de la subred, protocolos de comunicación, accesos, direcciones IP, parámetros de funcionamiento de las antenas, cortafuegos y demás elementos debidamente diseñados para garantizar la comunicación (ver figura 5).

El sistema de configura para mostrar la información contenida en el servidor web del PLC (figura 6-a) y las interfaces gráficas diseñadas (figura 6-b). Se corrobora como se visualizan el sistema de supervisión remoto en los ordenadores conectados con el portal web del MINAGRI lográndose visibilidad de alcance nacional.

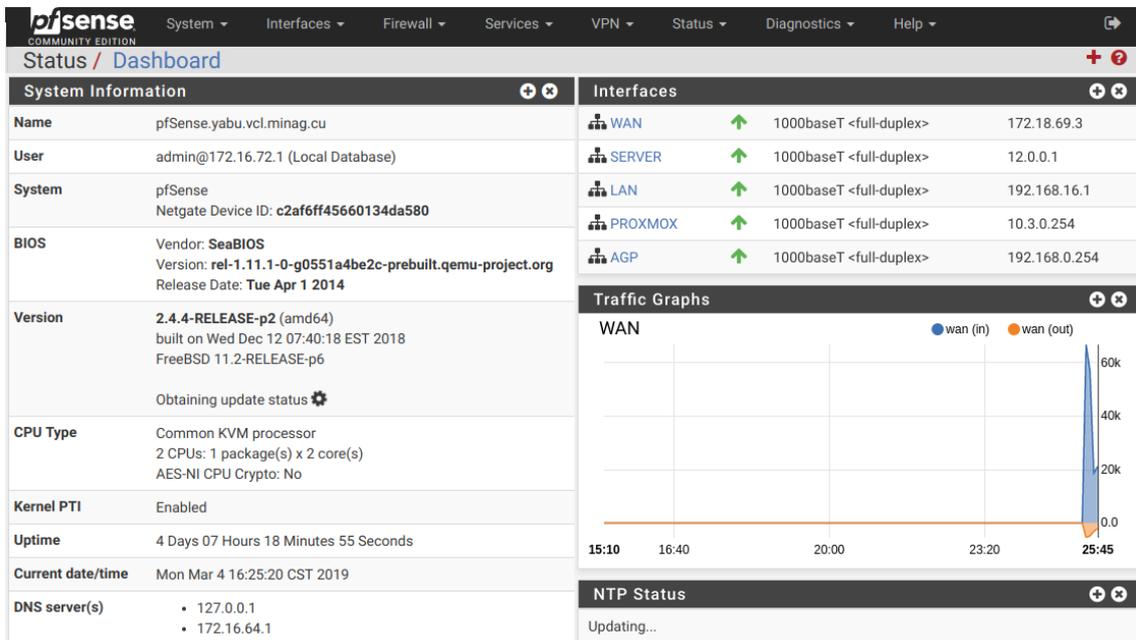


Figura 5. Ilustración del comportamiento de los parámetros del cortafuegos del servidor.



(a) (b)
Figura 6. Visualización del sistema supervisorio en laptop operando como estación remota



Las pruebas experimentales permiten corroborar el correcto funcionamiento del sistema en su conjunto, así como el cumplimiento de los niveles de seguridad exigidos para este tipo de aplicación. Se lograron orientar adecuadamente las antenas para una mejor calidad de la señal inalámbrica y se demuestra la robustez de la infraestructura de comunicación para soportar red segura inalámbrica, garantizando la operación del sistema de supervisión y monitoreo de riego agrícola basado en PLC.

Durante la implementación del sistema se evalúa el comportamiento de los parámetros de la conexión entre dos de los puntos de acceso inalámbrico NanoStationM2 empleados en el enlace remoto y que forman parte de la red segura instalada. Se aprecia desde la interfaz de administración del sistema operativo (AirOS) de los dispositivos de comunicación inalámbricos, el comportamiento de los principales indicadores de la conectividad, gracias a lo cual se puede comprobar la calidad de la señal, y evaluar la alineación correcta entre las antenas en la aplicación real de campo.

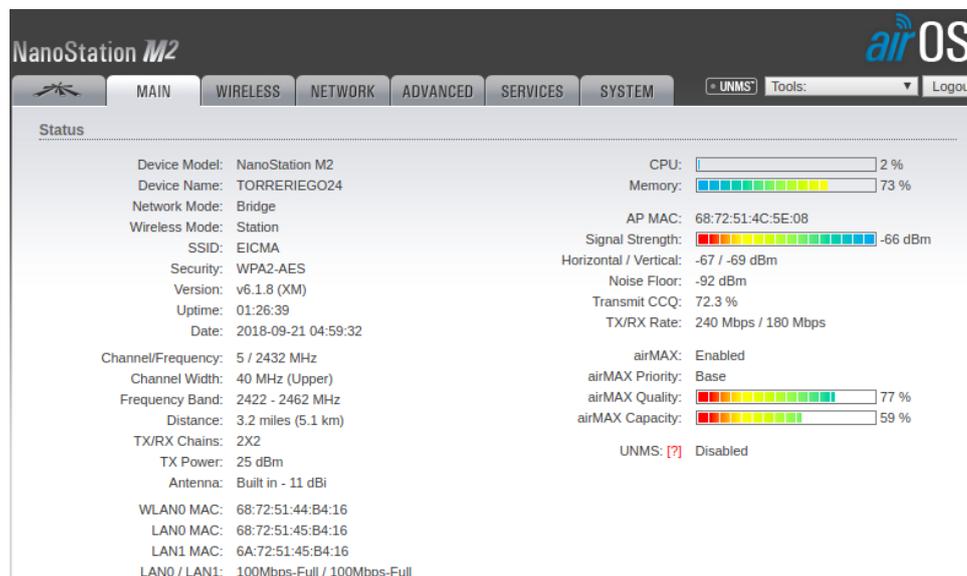


Figura 6. Ventana de administración del dispositivo de comunicación inalámbrico NanoStationM2.

4. Conclusiones

La implementación de una red segura para soportar el sistema de supervisión y control remoto diseñado sobre servidor web de PLC en máquinas de riego de pivote central posibilitó la operación a distancia del sistema por parte de los operarios y directivos



pertenecientes a la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú. El servidor web del PLC constituyó una herramienta factible para el diseño de interfaces web personalizadas, fáciles de usar por los usuarios en funciones de supervisión, control y planificación del riego basado en máquinas de pivote central.

El sistema brinda información en tiempo real que puede ser consultada desde cualquier dispositivo remoto, respondiendo a las exigencias de seguridad y robustez requeridas para el contexto de aplicación agrícola.

La tecnología de comunicación inalámbrica Wifi empleada se adecúa a los servicios e infraestructura de comunicación que posee actualmente el MINAG de manera general y la Empresa Agropecuaria Valle del Yabú de manera particular.

Se logra garantizar la cobertura inalámbrica segura de las máquinas de riego con la fiabilidad y seguridad necesarias, así como el enlace del sistema con los servicios que brinda la VPN del Ministerio de la Agricultura, donde las pruebas experimentales demostraron satisfactoriamente el comportamiento del sistema en su conjunto.

5. Referencias bibliográficas

AVALOS-CLAVELO, J. L. & PACHECO-SEGUÍ, J. 2012. Programación del riego de la caña de azúcar en la provincia de Villa Clara, Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 21, 61-66.

AVELLO-FERNÁNDEZ, L., IZAGUIRRE CASTELLANOS, E., VIDAL DÍAZ, M. L., MARTÍNEZ LAGUARDIA, A. & HERNÁNDEZ SANTANA, L. 2018. Remote supervision and control based on wireless technology to operation of central pivot irrigation machine. Sistemas & Telemática, 16, 63-74.

BANSAL, D. & REDDY, S. R. N. 2013. WSN Based Closed Loop Automatic Irrigation System. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), 2, 229-237.

CASTILLEJO ERVITI, M. 2013. Agricultura de precisión mediante redes inalámbricas de sensores. Master Universitario en Tecnologías Informáticas, Universidad Pública de Navarra.



- IZAGUIRRE CASTELLANOS, E. & RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, R. Los sistemas de riego inteligentes. Contexto actual y perspectivas de su implementación en Cuba. In: EICMA-MINAG, ed. V Encuentro Técnico de Informática, Automática y Comunicaciones de la Agricultura, 26-29 abril 2016 Ministerio de la Agricultura, Habana. MINAG, 1-12.
- J GUTIÉRREZ, J F VILLA-MEDINA, A NIETO-GARIBAY & PORTA-GÁNDARA, M. A. 2014. Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 63, 166-176.
- KRANZ, W. Monitoring Irrigation Water Application with Computerized Controllers. Proceedings of 23rd Annual Central Plains Irrigation Conference (CPIA-2011), February 22-23, 2011 Colby, Kansas. 144-154.
- MONTOYA, F. G., GÓMEZ, J., CAMA, A., ZAPATA-SIERRA, A., MARTÍNEZ, F., DE LA CRUZ, J. L. & MANZANO-AGUGLIARO, F. 2013. A monitoring system for intensive agriculture based on mesh networks and the android system. Computers and Electronics in Agriculture, 99, 14-20.
- RODRÍGUEZ BECEIRO, S. A., CÁRDENAS ORFILA, A. & NAVARRO MINIAYLO, A. Propuesta de infraestructura de seguridad y red para garantizar la seguridad de los PLC In: EICMA-MINAG, ed. VI Encuentro Técnico de Informática, Automática y Comunicaciones de la Agricultura, 26-29 abril 2018 Ministerio de la Agricultura, Habana. MINAG, 1-12.
- RUIZ-CANALES, A. & FERRÁNDEZ-VILLENNA, M. 2015. New proposals in the automation and remote control of water management in agriculture: Agromotic systems. Agricultural Water Management, 151, 1-3.
- SINGH, S. & SHARMA, N. 2012. Research Paper on Drip Irrigation Management using wireless sensors. RACST – International Journal of Computer Networks and Wireless Communications (IJCNWC), 2, 461-464.
- SINGHAL, M., VERMA, K. & SHUKLA, A. Krishi Ville—Android based solution for Indian agriculture. 2011 Fifth IEEE international conference on advanced telecommunication systems and networks (ANTS), 2011. IEEE, 1-5.
- YAHIDE, P. B., JAIN, S. A. & GIRI, M. 2015. Survey on Web based Intelligent Irrigation System in Wireless Sensor Network. Multidisciplinary Journal of Research in Engineering and Technology, 2, 375-385.