

IX CONFERENCIA CIENTÍFICA INTERNACIONAL SOBRE
DESARROLLO AGROPECUARIO Y SOSTENIBILIDAD
"AGROCENTRO 2019"
IX SIMPOSIO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Uso y evaluación de un sistema de riego automatizado mediante hardware libre y dispositivos móviles.

Use and evaluation of an irrigation system automated through free hardware and mobile devices.

Jorge Fardales Pérez¹, Jaime Fardales Pérez², Yunior Rafael Cabrera Hernández³

1- Universidad de Sancti-Spíritus (UNISS), Cuba, jorgefardalesperez@gmail.com

2- Empresa de Automatización Integral (CEDAI), Cuba, fardales@cedai.com.cu

3- Universidad de Sancti-Spíritus (UNISS), Cuba, yuniorrafael@uniss.edu.cu

Resumen: En este trabajo se propone una alternativa que mejora la monitorización de las variables ambientales y la precisión en el control del sistema de suministro y dosificación de riego y fertirriego en la hacienda Chipia localizada en la provincia angolana de Huambo, en el cultivo de tomate. Se seleccionan e integran placas Arduino, teléfonos Android y computadoras personales o portátiles para dar soporte a servicios de comunicaciones, gestión energética y del agua de forma local y remota. Como elementos imprescindibles del diseño se asumen la flexibilidad, la sencillez y sobre todo los bajos costos económicos para el desarrollo y la expansión del sistema. Después de ser entrenados, los usuarios operan el sistema y expresan satisfacción con su uso y además consideran que es fácil de operar y que les facilita el trabajo. También se optimiza el consumo diario de energía eléctrica y agua para regadíos en un 80 % y 71 % respectivamente. A corto plazo, se logra observar una continuidad en la conservación del sembrado de tomate. La coloración es la deseada y se ha eliminado el quemado de las plantas por el reflejo del sol en el agua depositada en la superficie, así como la anegación del terreno. Se facilitan los estudios de fertilización y la producción de tomate creció en un 10 %.

Abstract: This work talks about proposing an alternative to improve monitorization of environmental variables and accuracy in the control of the system for supplying and dose irrigation in the chipia farm located at the Huambo Angolan province, in tomato crop. arduino kits, android phones and personal or portable computers are selected and integrated to support communication, energy and water management services locally and remotely. flexibility, simplicity and low economic costs to develop and expand the system are assumed as essential design elements. before training, the users operate the system, show satisfaction by using it, and consider that it is easy to operate and work. the diary consumption of electric energy and water for irrigation is also optimized in an 80 % and 71 % respectively. in the short term, a continuity in tomato crop health in terms of expected colors and avoidance of plant burning by sun light and its reflect in the water located at the surface, as well as soil inundation. fertilization studies are easiest now, and the tomato production shot up by 10 %.

Palabras Clave: Automatización y control; Sistema de riego; Hardware libre; Arduino; Dispositivos móviles; Android.

Keywords: Automation and control, Irrigation system, Free hardware, Arduino, Mobile devices, Android.

1. Introducción

La ciudad de Huambo, ubicada en la zona central de Angola, se caracteriza por la abundante presencia de haciendas dedicadas a múltiples cultivos dentro de los cuales se encuentran: Ajos, cebollas, lechuga, zanahoria, remolacha, arroz, frijoles, papas, tomates, pepinos, boniatos, maíz, frutales, etc. Estas producciones se realizan para su posterior venta a la población en zonas cercanas a los lugares de producción y en algunos casos previamente contratados para su posterior procesamiento industrial dentro del país o en el extranjero.

Para los productores (Se trata en muchos casos de pequeños productores agrícolas y las haciendas generalmente ocupan una reducida área geográfica) existe una constante necesidad de crecimiento y mejora del proceso productivo, de cara a su posterior distribución y consumo. También existe el anhelo de prosperidad económica y el enfrentamiento constante a la competencia tanto nacional como internacional. Entre las metas a lograr se encuentran: Reducir la contaminación ambiental (Flora, fauna, aire,

agua, suelo y ruidos) y el uso óptimo de los recursos: Agua, energía eléctrica, luz solar, dinero, etc.

Siguiendo esta línea, una vía de solución de los problemas planteados es insertar la automatización. Para ello, previamente se les explicó en que consiste esta solución, con el uso de la bibliografía correspondiente. Por ejemplo, [4] plantea:

“El concepto de automatización lleva implícita la supresión total o parcial de la intervención humana en la ejecución de diversas tareas, industriales, agrícolas, domésticas, administrativas o científicas.”

Además, el mismo autor ejemplifica [4]:

“La automatización de un proceso industrial (Máquina, conjunto o equipo industrial) consiste en la incorporación al mismo de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos que aseguren su control y buen comportamiento. Dicho automatismo, en general ha de ser capaz de reaccionar frente a las situaciones previstas de antemano y además frente a imponderables, tener como objetivo situar al proceso y a los recursos humanos que lo asisten en la situación más favorable.”

También agrega que [4] “(...) constituye uno de los objetivos más importantes de las empresas en la siempre incesante tarea de la búsqueda de la competitividad en un entorno cambiante y agresivo.”

Otros autores han añadido [2]: “En su uso moderno, la automatización se puede definir como una tecnología que utiliza comandos programados para operar un proceso dado, combinado con retroalimentación de información para determinar que los comandos han sido correctamente ejecutados”

En los años más recientes se constata la integración de distintas tecnologías mediante el uso simultáneo de las telecomunicaciones, la electrónica y la informática. Se logra así incorporar sistemas de información que soportan el flujo de ésta a lo largo de toda la instalación, con la suficiente flexibilidad como para posibilitar de manera sencilla y económica la implantación de sistemas futuros. Por ejemplo: Se puede reprogramar fácilmente en función del cambio de necesidades.

La Figura 1 contiene un resumen sobre las ideas expresadas anteriormente.

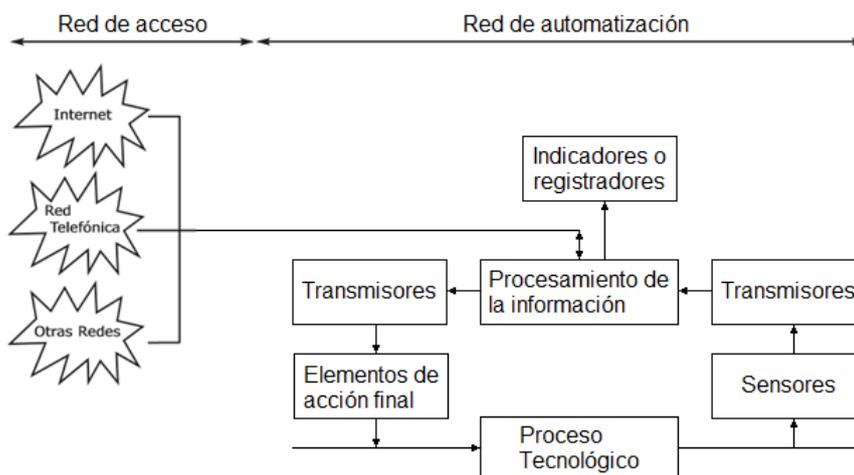


Figura 1. Esquema general de un sistema de automatización y control.

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, la sociedad angolana se desarrolla a un ritmo acelerado en todos los ámbitos: cultura, tecnología, urbanización y así sucesivamente. En el caso particular de las tecnologías de la electrónica, la automática y las telecomunicaciones, están a la venta diversos equipos (TV, computadoras personales o portátiles, dispositivos móviles y demás, así como formas de interconectarlos: Conmutadores, routers y otros) de fabricantes como Hewlett-Packard, Samsung y Philips. Además, servicios como Internet están disponibles en su mayoría a través de UNITEL. También las universidades ofrecen formación profesional en el desarrollo y uso de estas tecnologías en proyectos multidisciplinarios a través de plataformas de hardware como el Kit Exsto (Producido por la empresa brasileña Exsto Technologies) [3] o la placa Arduino (Desarrollada por Massimo Banzi y un grupo de docentes en el Interaction Design Institute en Ivrea, Italia) [1].

Es en este contexto que se desarrolla la hacienda Chipia, localizada en la provincia angolana de Huambo y tomada como objeto de estudio en este trabajo. Se trata de una hacienda dedicada al cultivo de frijol. La misma identificó la necesidad de introducir la automatización en su sistema de riego, a la luz de todos los planteamientos anteriores. Surgió así la idea de automatizar procesos productivos agrícolas.

Como **problema científico** se planteó el siguiente: ¿Cómo mejorar la monitorización de las variables ambientales, la precisión en el control del sistema de suministro y dosificación de riego y fertirriego existente en la hacienda Chipia localizada en la

provincia angolana de Huambo en el caso del cultivo de frijol y facilitar estudios de fertilización?

Como **objetivo general** se planteó: Proponer una alternativa versátil que mejore la monitorización de las variables ambientales, la precisión en el control del sistema de suministro y dosificación de riego y fertirriego existente en la hacienda Chipia localizada en la provincia angolana de Huambo en el caso del cultivo de frijol y facilite estudios de fertilización.

2. Desarrollo

La alternativa que se propone a continuación toma como base lo planteado al respecto en la literatura [6], [8] y consta de cuatro momentos importantes:

- Diagnóstico de necesidades.
- Desarrollo del prototipo (Selección de componentes, diseño, montaje, programación y prueba)
- Entrenamiento de los usuarios
- Evaluación de los resultados

2.1 Diagnóstico de necesidades

El diagnóstico de necesidades se realizó en dos fases: La primera fase está relacionada con los directivos y está expresada en la introducción de este trabajo. La segunda fase está relacionada con los trabajadores de la finca y se realizó tomando como base la aplicación de una encuesta (Anexo 1). Los resultados de las encuestas practicadas permiten concluir que el desconocimiento en cuanto a temas de automatización, es de casi el 50% de la población objetivo del estudio. Aunque la mayoría de los trabajadores considera que el uso de la automatización en la finca implicaría mejorar su calidad de vida, no es claro para todos ellos en qué se vería representada esta mejora en términos concretos. La mayoría lo interpreta como un asunto de comodidad en disminución de las labores, no como un factor de reducción de costos recurrentes, o de aprovechamiento eficiente de los recursos.

2.2 Montaje del hardware del prototipo

El área que la finca dedica al cultivo de frijol es pequeña (9mX9m). Además, en la finca ya se utilizaban los siguientes elementos:

- Pozo, como fuente de abastecimiento de agua.

- Reservorio, como acumulador o cisterna para asegurar el suministro de agua.
- Bombas (2).
- Iluminación mediante lámparas fluorescentes.
- Conexión con proveedores de servicios de Internet y email.
- Se dispone de varios teléfonos Android que se les asignan a los empleados, en caso de que estos no tengan.

En todos los casos mencionados es necesaria la conexión/desconexión de dichas cargas eléctricas. Además, se requiere acceso remoto por dispositivos móviles (SMS) para envío de comandos y recibo de avisos sobre alarmas.

Para cumplir las metas anteriores, se debe realizar la selección de componentes, así como el diseño y montaje del prototipo del sistema de automatización. Los autores de este trabajo toman las consideraciones presentes en [7]: " (...) ofrecer una solución de bajo costo, implementable con elementos comunes en el mercado e integrando el uso de software y hardware libres, los cuales permiten su adquisición a precios económicos, como es el caso de Arduino, o gratuito, como es el caso de Processing. Al mismo tiempo, este tipo de herramientas permite su modificación para adecuarse en caso necesario a necesidades específicas, por estar disponibles bajo licencias open-source."

La Figura 2 muestra el esquema general del sistema de riego escogido. Se trata de una arquitectura mixta en que dos placas Arduino se comunican entre sí y con un dispositivo móvil (En este caso, un teléfono celular). Además, se ha incluido un sensor y un actuador de cada tipo de los utilizados, en respuesta a los subsistemas de captura de datos y de acción final respectivamente. Por otra parte, el sistema de comunicaciones está integrado por un módulo GSM y un módulo WiFi ambos pertenecientes a la plataforma Arduino. Como se ve, se seleccionó la plataforma Arduino, pues es una plataforma electrónica de hardware libre basada en una placa con un microcontrolador. Con software y hardware flexibles, ha sido diseñado para adaptarse a las necesidades de todo tipo de público, desde aficionados, hasta expertos en robótica o equipos electrónicos. También consta de un entorno de desarrollo que permite interactuar con la plataforma. Se puede definir por tanto como una herramienta de contribución a la creación de prototipos, entornos, u objetos interactivos destinados a proyectos multidisciplinarios y multitecnología. [1].

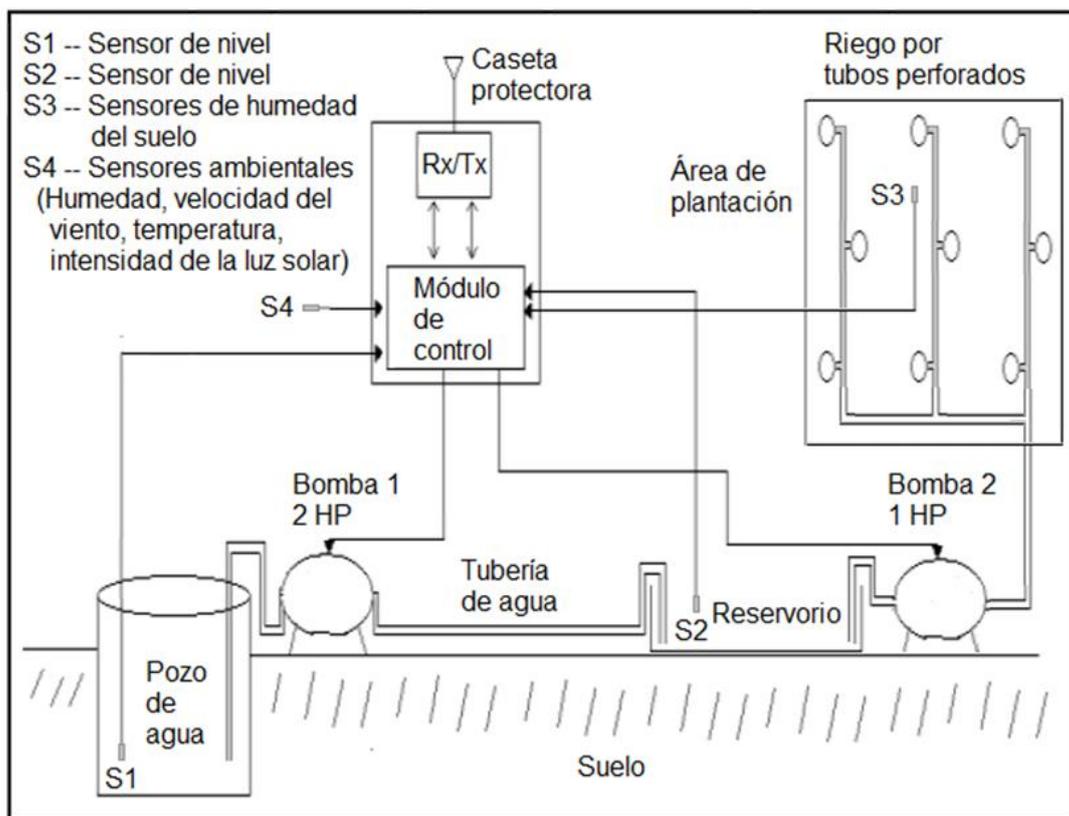


Figura 2. Esquema general del Sistema de riego.

Fuente: elaboración propia

Además, en primera instancia se buscó una implementación de software y hardware que tuvieran código OpenSource y una electrónica abierta respectivamente, para facilitar la búsqueda de librerías, recursos y reducir costos con respecto al tema de licencias. También se puede destacar la incorporación de flexibilidad para posibilitar de manera sencilla y económica la expansión de subsistemas futuros: Reprogramación en función de nuevas necesidades y algoritmos de control.

Para adaptar los sensores y actuadores con el dispositivo de control (Placa Arduino), son necesarios circuitos adicionales:

- En el caso de los sensores, son necesarios circuitos que acondicionen la señal. En la Figura 3-a, 3-b y 3-c se muestran los circuitos empleados para el sensor de temperatura, el LDR y el pulsador o push button.
- Para accionar (Conectar/desconectar) dispositivos de mayor potencia (En este trabajo, los motores de las bombas, como se muestra en la Figura 2), se necesitan circuitos de interface. En la Figura 3-d se muestra el circuito empleado, basado en

un relay cuya bobina recibe energía de una fuente de alimentación de 5 VCD, mientras que su contacto realiza la conexión del circuito de potencia 220 VCA.

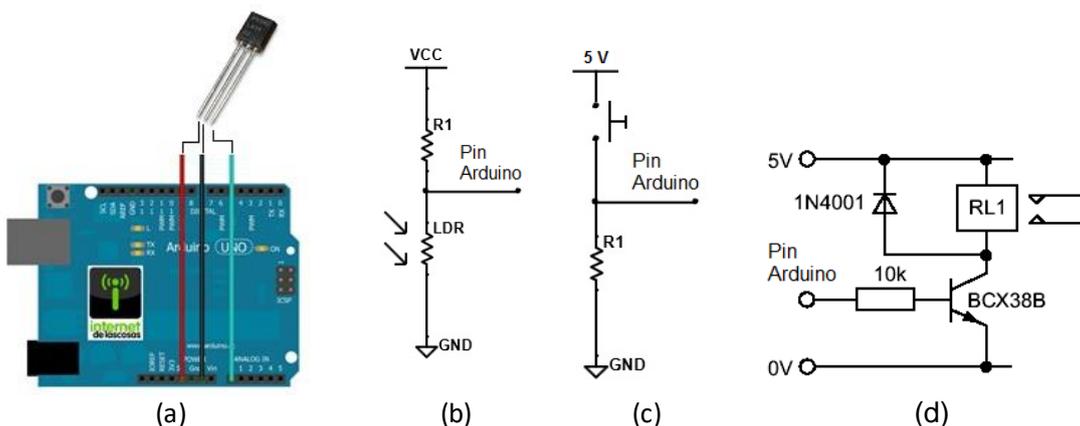


Figura 1. Circuitos adaptadores. a) Circuito acondicionador para sensor de temperatura, b) Circuito acondicionador para LDR, c) Circuito acondicionador para push button, d) Circuitos interface con relays.

Fuente: elaboración propia

La arquitectura mostrada en la Figura 2, llevara a cabo las siguientes funciones:

- Mostrar los valores de las variables medidos por los sensores (Nivel del agua, velocidad del viento, humedad del suelo, temperatura ambiente e intensidad de la luz solar).
- Mostrar alarmas frente a valores límite de nivel, humedad, velocidad del viento, etc.
- Controlar (Activar/desactivar) los motores de las bombas mediante el accionamiento de relays.
- Controlar (Activar/desactivar) válvulas mediante el accionamiento de relays.
- Activar/desactivar alarmas.

Las funciones mencionadas se podrán realizar en cuatro modalidades:

- Modalidad local: La interacción entre las placas Arduino se realiza mediante WiFi y con el sistema de gestión basado en el monitor serial del IDE Arduino.
- Modalidad remota: Una de las placas Arduino tiene incorporada, además, una placa de expansión (Shield, en inglés) GPRS/GSM. De este modo, es posible el envío/recepción de mensajes de texto (SMS) portadores de las instrucciones que el usuario le transmita, lo que da soporte a un sistema de gestión remota. Mediante la Figura 4 se muestra un ejemplo que utiliza un teléfono celular. Una de las ventajas de esta modalidad es que desde su casa, mientras los trabajadores de la finca se encuentran descansando, pueden emitir las instrucciones para conocer los

valores de las variables que deseen y así estar listos para posibles imprevistos a su llegada.

- Lazo abierto: Encendido y apagado del riego por tiempo (6:30 am, 6:30 pm)
- Lazo cerrado: Encendido y apagado del riego según los valores de las variables medidos por los sensores (Nivel del agua, velocidad del viento, humedad del suelo, temperatura ambiente e intensidad de la luz solar).
- Manual.

2.3 Implementación del software

El proceso de implementación (Codificación, compilación, transferencia, ejecución y prueba) del software tanto para el celular (Mediante la plataforma Android), como para la placa Arduino (Mediante la Plataforma del mismo nombre) se debe realizar a través de una computadora. Así se da respuesta a la función de procesamiento o central de gestión. La Figura 4 muestra la interfaz del sistema de gestión remoto desarrollada para Android.

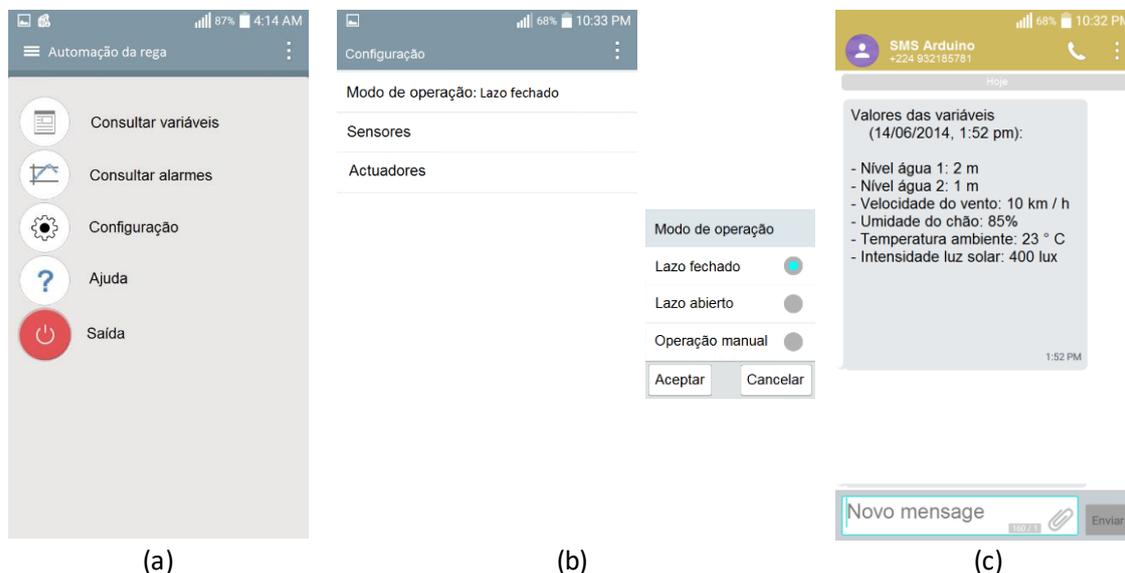


Figura 4. Interfaz del sistema de gestión remoto desarrollada para Android. Se muestra: a) La ventana principal, b) La configuración, c) La consulta de los valores de las variables, a través de SMS.

Fuente: elaboración propia

Además, se necesita implementar algoritmos, en correspondencia con cada una de las opciones, tanto para las placas Arduino (Utilizando el IDE Arduino [1]), como para los dispositivos móviles (En este trabajo se utilizaron dispositivos basados en el sistema operativo Android, así como el IDE Android Studio [5]). Un algoritmo de ejemplo aparece expresado en forma de diagrama de flujo en la Figura 5.

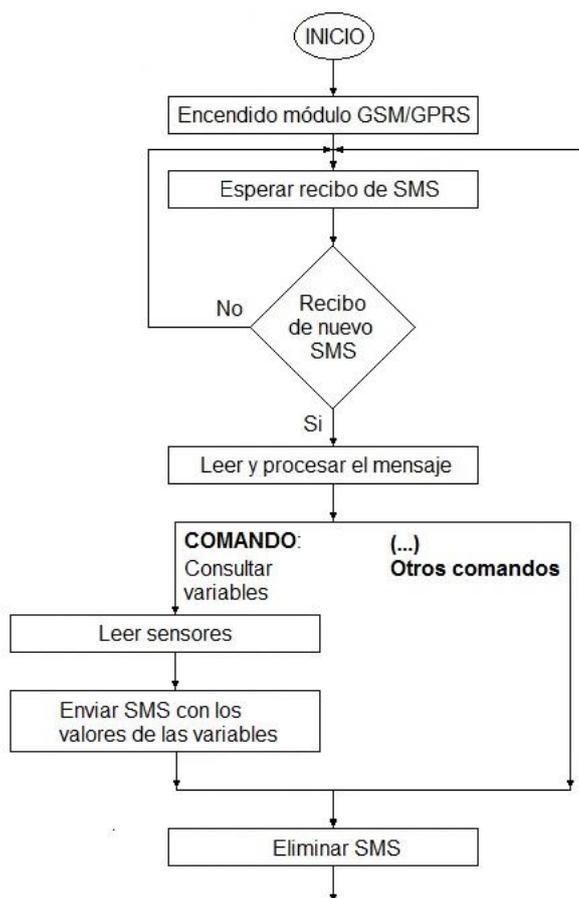


Figura 5. Diagrama de flujo general correspondiente al sistema de gestión remota para la opción de consulta de los valores de la temperatura.

Fuente: elaboración propia

2.4 Entrenamiento de los usuarios

Como resultado del diagnóstico, quedó clara la necesidad de realizar un entrenamiento a los usuarios del sistema, el cual se realizó teniendo en cuenta cuatro aspectos:

- Operación de la computadora personal.
- Operación de la placa Arduino.
- Operación del teléfono móvil.
- Interpretación de los resultados y toma de decisiones.

2.5 Evaluación del desempeño del prototipo de sistema de automatización.

Una vez diseñado, el prototipo se instaló (Montaje, cableado, ajuste y configuración) y estuvo bajo la supervisión de los operarios durante cuatro meses (Entre Mayo y Agosto de 2014 el tiempo fue suficiente para la siembra, atención y recolección de tomates), quienes se encargaron de realizar las pruebas respectivas correspondientes a los diferentes

modos de funcionamiento, además de realizar algunas sugerencias en cuanto a mejoras en la interfaz de usuario para que el manejo del sistema sea más sencillo y más completo, con lo que se obtuvieron los siguientes resultados:

- El ambiente donde se realiza el riego es abierto y se comprobó que el alcance de comunicación del dispositivo es de aproximadamente de 100 metros. De esta manera, se valida lo mencionado en el datasheet (hoja de datos) del módulo WiFi.
- Se aplicó una encuesta (Anexo 2) a los trabajadores de la finca y a especialistas, en la cual se expresa satisfacción en el uso del sistema (Confort, seguridad y uso de la información). Además, que el sistema de control funciona correctamente, les facilita el trabajo y su operación, actualización y mantenimiento resulta fácil.
- Con el uso de la placa Arduino se logra un sistema de control de bajo costo, robusto, flexible, fácilmente modificable y con posibilidad de manejar señales analógicas y digitales. Además, el sistema puede realizar distintas funciones y secuencias de control alterando solo el programa y no la configuración física.
- Se optimiza el consumo diario de energía eléctrica para regadíos según los estudios previos y post-proyecto en un 80 % aproximadamente con lo cual se podría satisfacer a 1 familia en su consumo de la tercera parte del día.
- Se optimiza el consumo diario de agua para regadíos según los estudios previos y post-proyecto en un 71% aproximadamente que equivalen aproximadamente a 40 litros diarios de agua en un sembrado de tomate promedio. Con este ahorro de agua se podría satisfacer a 2 familias en su consumo diario.
- A corto plazo se logra observar una continuidad en la conservación del sembrado de tomate tratado. Se mantiene húmedo por las noches y en gran parte del día. La coloración y mantenimiento es el deseado. Se ha eliminado el quemado de las plantas por el reflejo del sol en el agua depositada en la superficie, así como la anegación de la superficie.
- Como beneficios secundarios se tiene el ahorro de tiempo en el regado diario realizado manualmente y un fuerte ahorro económico que irá aumentando a medida que la demanda de agua continúe su tendencia creciente.

3. Conclusiones

Se cumple con el objetivo propuesto para este proyecto, pues se ha logrado un modelo de gran alcance de comunicación que integra tecnologías como GSM y WiFi, de bajo costo, bajo consumo de energía y gran flexibilidad, donde se ha demostrado el óptimo funcionamiento de cada controlador. Asimismo, estos controladores se han implementado en ambientes de 220 voltios garantizando el soporte al mercado angolano.

La implementación de un sistema automatizado es beneficioso para las haciendas angolanas ya que con pocos recursos se pueden obtener ahorros considerables de poco más del 71% de agua de riego y de 80 % de energía de riego, así como lograr el aumento del confort y la seguridad. Además, se puede observar una dosificación más precisa del riego y una notable disminución en la intervención del operario. Por otro lado, de acuerdo al criterio de expertos en cultivos, la puesta en marcha del sistema, adicionalmente a los resultados esperados, disminuyó tareas de fumigación, ya que con el control de la humedad se pudo manejar el desarrollo de malezas y por ende la propagación de insectos y hongos, con lo que se produce una reducción adicional de costos de producción.

4. Referencias bibliográficas

- [1] Banzi, Massimo. (2011). Getting Started with Arduino. Second Edition. O'Reilly. ISBN: 978-1-449-309879. Recuperado de
- [2] Dorf, Richard C., Bishop, Robert H. (2001). Modern control systems. Ninth Edition. Prentice Hall International. ISBN: 0-13-031411-0
- [3] Extso. (2008). XA100M02 – Eletrônica básica. Teoría, cuaderno de experiências e manual. Exsto Tecnología Ltda., Brasil
- [4] García Moreno, Emilio. (1999). Automatización de procesos industriales. Robótica y automática. Universidad Politécnica de Valencia, ISBN: 978-84-7721-759-6
- [5] Hohensee, Barbara. (2015). Android for beginners. Developing apps using android studio. ISBN: 9781633396364
- [6] Quintana G., Boris Andrés, Pereira Poveda, Vietnam Rafaela, Vega S., Cindy Nayid. (2015). Automatización en el hogar: un proceso de diseño para viviendas de interés social. Revista Escuela de Administración de Negocios. Enero-junio de

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL UCLV 2019
Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS



2015(núm 78). Bogotá. Colombia. ISSN: 0120-8160. Recuperado de
<http://www.redalyc.org/pdf/206/20640430008.pdf>

[7] Rodarte Dávila, Jesús, Paz Gutiérrez, Jenaro Carlos, González Campos, José Saúl, García Martínez, Ramsés Román. (2013). Casa inteligente y segura (fase 2). Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Colección Reportes Técnicos de Investigación. Isbn: 978-607-7953-80-7. Recuperado de
http://www.uacj.mx/DGDCDC/SP/Documents/RTI/IIT/Casa_inteligente_y_segura.pdf

[8] Vázquez Pérez, Antonio. (2011). Plan-do-check-act en una experiencia TIC en el aula: desde la idea a la evaluación. EDUTEC - e Revista Electrónica de Tecnología Educativ, Junio (Núm. 36). ISSN: 1135-9250

[http://eclass.sch.gr/modules/document/file.php/EL19138/Massimo_Banzi-Getting_Started_with_Arduino_-_Make_\(2011\).pdf](http://eclass.sch.gr/modules/document/file.php/EL19138/Massimo_Banzi-Getting_Started_with_Arduino_-_Make_(2011).pdf)

ANEXO 1

Diagnóstico a empleados (Aunque las preguntas se realizaron en realidad en portugués, en el marco de este trabajo se han traducido al español).

<p>La dirección de la finca desea introducir tecnologías para automatizar las labores diarias y quiere conocer su opinión sobre determinados aspectos. Para eso, usted debe responder el siguiente cuestionario.</p> <p>Clave para las respuestas: (1=nunca,2=casi nunca,3=a veces,4=frecuentemente,5=siempre)</p>					
PREGUNTAS	RESPUESTAS				
	1	2	3	4	5
¿Le llama la atención la tecnología y las facilidades de comunicación de hoy en día?					
¿Tiene usted conocimientos sobre automatización en la agricultura?					
¿Cree que automatizar el sistema de riego donde trabaja implicará mejorar su calidad de vida?					
¿Cree que automatizar el sistema de riego donde trabaja implicará disminución de las labores que usted realiza?					
¿Cree que automatizar el sistema de riego donde trabaja implicará reducción de costos?					
¿Cree que automatizar el sistema de riego donde trabaja implicará aprovechamiento eficiente de los recursos?					

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL UCLV 2019
Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS



ANEXO 2

Encuesta de satisfacción a empleados.

La dirección de la finca desea conocer su opinión sobre determinados aspectos relacionados con las tecnologías de automatización recientemente introducidas. Para eso, usted debe responder el siguiente cuestionario.

Clave para las respuestas: (1=nunca,2=casi nunca,3=a veces,4=frecuentemente,5=siempre)

PREGUNTAS	RESPUESTAS				
	1	2	3	4	5
Después de experimentar el control y supervisión del sistema de riego ¿Le ha gustado?					
¿Fue complicada la operación del sistema de control y supervisión?					
¿Ha tenido que consultar a sus colegas para operar el sistema de control y supervisión?					
¿Cree que la instalación y operación de un sistema de control y supervisión es beneficioso para usted y para la finca (Confort, seguridad y uso de la información)?					
¿Ha visto inconvenientes al uso del sistema de control y supervisión?					
¿Es mejor que la forma tradicional de operación?					
¿Le gustaría seguir utilizando esta herramienta?					
¿Le gustaría encontrar este servicio en otros lugares a los que usted asiste como cliente?					
¿Usaría en casa un sistema de control y supervisión?					

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu