



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS EMBEBIDOS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Sistema de riego autónomo aplicado a la agricultura

Autor:

Ing. Jhonny Velasco Collazos

Director:

Ing. Luis Mariano Campos (FIUBA)

Jurados:

Nombre del jurado 1 (pertenencia)

Nombre del jurado 2 (pertenencia)

Nombre del jurado 3 (pertenencia)

*Este trabajo fue realizado en la ciudad de Lima,
entre marzo de 2023 y Mayo de 2023.*

Resumen

Esta memoria describe el proceso de diseño y fabricación de un prototipo de un sistema de riego autónomo con conectividad inalámbrica. Este prototipo pretende ayudar a los agricultores o personas amantes de las plantas, a monitorear y automatizar el proceso de riego y a su vez mejorar eficiencias y reducción de costos en los procesos operativos.

Para poder llevar adelante este trabajo, fue indispensable la aplicación de conocimientos técnicos que se desarrollaron durante la carrera como los protocolos de comunicación en sistemas embebidos, diseño de circuitos impresos, desarrollo de aplicaciones de tiempo real, entre otros.

Agradecimientos

A mi familia, por creer en mí.

A Yessica, por su apoyo incondicional.

A mi director, Ing. Luis Mariano Campos, por su buena predisposición y calidad profesional.

A todos ellos, muchas gracias.

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Motivación	1
1.2. Alcance y objetivos	1
1.3. Estado del arte	3
2. Introducción específica	5
2.1. Requerimientos acordados con el cliente	5
2.1.1. Requerimientos funcionales:	5
2.1.2. Requerimientos no funcionales:	7
2.1.3. Historias de usuario	7
2.2. Tecnologías utilizadas	9
2.2.1. ESP32:	9
2.2.2. Pantalla TFT de 3.5 pulgadas:	10
2.2.3. Joystick:	10
2.2.4. Sensor BME280:	10
2.2.5. Chip FT232RL:	10
2.3. Herramientas y recursos de terceros	10

Índice de figuras

1.1. Rain Bird 1ZEHTMR.	3
1.2. Rain Bird ESP-RZXe.	3
1.3. Rain Bird ESP TM2-X-230.	4
1.4. Hunter BTT101.	4
1.5. Galcon 80024-8.	4
2.1. System on a Chip Espressif ESP32	9

Índice de tablas

1.1. Tabla comparativa de fabricantes de programadores de riego o similares	3
---	---

Dedicado a mi familia.

Capítulo 1

Introducción general

Esta sección presenta las motivaciones, alcance y objetivos así como la comparativa de productos similares en el mercado.

1.1. Motivación

En muchas zonas del Perú, los pequeños agricultores se ven afectados por los fenómenos ambientales como las sequías y heladas que repercuten directamente en sus cosechas. Por otro lado, constantemente realizan muchas operaciones manuales que podrían automatizarse para generar eficiencias en el uso de los recursos.

Uno de los principales fenómenos que afecta mucho a la producción agrícola son las heladas, normalmente este fenómeno se produce durante las madrugadas dañando toda la cosecha. Una forma eficaz de proteger los sembríos de las heladas es detectar a tiempo el fenómeno y luego rociar abundante agua en la zona.

Es por esa razón que el espíritu de este prototipo es poner al alcance de los pequeños agricultores un sistema de riego autónomo que permita automatizar los procesos de riego y tener la capacidad de monitorear las diferentes variables ambientales para tomar una acción correctiva.

1.2. Alcance y objetivos

Esta memoria describe el proceso de diseño y fabricación de un prototipo de un sistema de riego autónomo con conectividad inalámbrica que permita controlar dos (4) electroválvulas independientes y una (1) motobomba para mayor presión en el flujo de agua. Asimismo, el sistema estará equipado por sensores de presión atmosférica, temperatura y humedad ambiental.

La información será visible a través de una pantalla LCD y tendrá un joystick de dos ejes para su control. También dispondrá de un *Real Time Clock* (RTC) para contabilizar el tiempo.

Como parte del alcance se ha contemplado lo siguiente:

1. Diseño del *hardware* del sistema de riego autónomo.
2. Diseño de la *PCB*.
3. Ensamblaje.
4. Diseño del *firmware* del sistema de riego autónomo basado en el microcontrolador ESP32 o similar.

5. Diseño de la caja 3D.
6. Pruebas.

El presente prototipo en esta primera etapa no incluye:

1. Diseño e implementación de la arquitectura nube donde estarán alojados la API, aplicación web y servidor MQTT.
2. Diseño e implementación de la API que se comunicará con la aplicación web o móvil.
3. Diseño e implementación de la aplicación web o móvil para control remoto de los parámetros.
4. Actualización del *firmware* del microcontrolador para que soporte la comunicación MQTT con el *broker*.
5. Diseño e implementación de sensores externos e inalámbricos para monitorear la temperatura y humedad de la tierra.

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

1. Se importará de China los siguientes componentes electrónicos:
 - Un microcontrolador ESP32 o similar.
 - Un convertidor USB a TTL UART.
 - Un chip DS3231 "Real Time Clock" o similar.
 - Una pantalla LCD de 2.4" o 3.5".
 - Un sensor de temperatura, humedad y presión atmosférica (BME280) o similar.
 - Un *joystick* de 2 ejes (x-y).
 - Otros componentes: resistencias, capacitores, diodos, etc.
2. Se dispondrá de un mínimo de 704 horas requeridas para realizar el prototipo.
3. Se dispondrá del presupuesto económico para realizar las compras requeridas.
4. Se dispondrá del *software* requerido para el prototipo: IDE del microcontrolador, KiCad 6 y Autodesk Fusion360.
5. Se dispondrá de un proveedor para la elaboración de la PCB.
6. Se dispondrá de un proveedor local para las impresiones 3D de la carcasa.

1.3. Estado del arte

En la actualidad podemos encontrar diferentes empresas que comercializan programadores de riego o *timers* que cumplen dicha función. Sin embargo en muchos de los casos son dispositivos muy generales y con poca flexibilidad.

Item	Marca	Modelo	Precio	Salidas
1	Rain Bird	1ZEHTMR	S/ 295.00	1 salida
2	Rain Bird	ESP-RZXe	S/ 480.00	8 salidas
3	Rain Bird	TM2-6-230	S/ 658.00	6 salidas
4	Rain Bird	TM2-12-230	S/ 1561.00	12 salidas
5	HUNTER	BTT101	S/ 300.00	1 salida
6	GALCON	80024/8	S/ 765.00	8 salidas

TABLA 1.1. Tabla comparativa de fabricantes de programadores de riego o similares



FIGURA 1.1. Rain Bird 1ZEHTMR.



FIGURA 1.2. Rain Bird ESP-RZXe.



FIGURA 1.3. Rain Bird ESP TM2-X-230.



FIGURA 1.4. Hunter BTT101.



FIGURA 1.5. Galcon 80024-8.

Capítulo 2

Introducción específica

Esta sección presenta los requerimientos acordados con el cliente, las diferentes tecnologías a utilizar y las herramientas y recursos utilizados para realizar el trabajo.

2.1. Requerimientos acordados con el cliente

2.1.1. Requerimientos funcionales:

- **Requerimientos de *hardware*:**

1. El dispositivo deberá contar con un transformador de 110 / 220 VAC a 24 VAC a 2 A que será utilizado para alimentar el microcontrolador, sensores y periféricos de entrada y salida.
2. El dispositivo deberá contar con un rectificador y regulador de tensión a 5 VDC y 3.3 VDC.
3. El dispositivo deberá contar con una interface USB para su programación, actualización de código y depuración.
4. El dispositivo deberá contar con una pantalla LCD o similar de mínimo 2.4" hasta 3.5".
5. El dispositivo deberá contar con un *joystick* o botoneras para su manipulación y configuración.
6. El dispositivo deberá contar con un *Real Time Clock* (RTC), el mismo que deberá mantener la fecha y hora actual ante un corte de energía.
7. El dispositivo deberá contar con un sensor de temperatura que mida mínimo en el rango de -20 °C a 60 °C con una precisión de +/- 1 °C o inferior.
8. El dispositivo deberá contar con un sensor de humedad relativa de 0-100 % con una precisión de +/- 3 % o inferior.
9. El dispositivo deberá contar con un sensor de presión atmosférica que mida en el rango de 300 a 1100 hPa (0.3 - 1.1 bar) con una precisión absoluta de +/- 1 hPa o inferior.
10. El dispositivo deberá contar con cuatro (4) salidas independientes para las electroválvulas de 24 VAC y las mismas que deberán ser energizadas por el propio transformador del dispositivo.

11. El dispositivo deberá contar con una (1) salida independiente para la motobomba.
12. El dispositivo deberá soportar la tecnología Wi-Fi para envío y recepción de datos.

■ **Requerimientos de *firmware*:**

1. Se deberá usar el idioma español o inglés.
2. La pantalla LCD debe mostrar el menú de opciones de configuración:
 - Establecer fecha y hora
 - Programar secuencias de riego
 - Riego manual
 - Activar/Desactivar válvulas
3. Se debe permitir establecer la fecha y hora a través del *joystick* o botones, el formato a utilizar será de 24 hrs.
4. Se debe permitir programar las secuencias de riego de cada electroválvula de manera independiente siguiendo las siguientes consideraciones:
 - Configurar la hora de ejecución de riego en horas, minutos y segundos.
 - Configurar la duración de riego en horas, minutos y segundos.
 - Configurar la frecuencia expresado en horas y minutos. Por ejemplo, ejecutar el riego cada 2 horas.
 - Seleccionar los días de riego.
 - Poder borrar la configuración actual de la secuencia de riego.
5. Se debe permitir encender cada electroválvula de manera manual independientemente de la programación que tenga configurada.
6. Se debe permitir activar y desactivar cada secuencia de riego de manera independiente.
7. La pantalla LCD debe mostrar un *dashboard* con la siguiente información:
 - La fecha y hora actual.
 - La programación actual de las secuencias de riego.
 - La presión atmosférica (altitud).
 - La temperatura y humedad ambiental.
 - El estado de los sensores de nivel de agua de los tanques.
 - El estado de las electroválvulas (encendidas/apagadas).

2.1.2. Requerimientos no funcionales:

1. El tiempo de muestreo de los sensores de temperatura, humedad y presión atmosférica será de 5 segundos como máximo.
2. Se debe garantizar un soporte post venta de 5 años.

2.1.3. Historias de usuario

Para la ponderación de la dificultad, complejidad e incertidumbre de las historias de usuarios se usará la serie de Fibonacci y se clasificará en tres niveles:

- Baja (1)
- Media (3)
- Alta (5).

El puntaje total será redondeado hacia arriba al valor mas cercano de la serie de Fibonacci. Por ejemplo, si la sumatoria da como resultado 11, el Story Point a considerar será 13.

Historia 1: "Como operario, quiero que el idioma del dispositivo sea español por un tema de facilidad de uso".

- **Dificultad:** baja (1)
- **Complejidad:** baja (1)
- **Incertidunbre:** baja (1)

Story Point: 3

Historia 2: "Como agricultor, quiero poder visualizar el día, mes, año, hora, minuto, temperatura, humedad y presión atmosférica (altitud) en tamaño visible".

- **Dificultad:** alta (5)
- **Complejidad:** media (3)
- **Incertidunbre:** media (3)

Story Point: 13

Historia 3: "Como agricultor, quiero tener la posibilidad de programar los riegos una vez al día o varias veces al día, un vez a la semana o varios días a la semana".

- **Dificultad:** alta (5)
- **Complejidad:** alta (5)
- **Incertidunbre:** media (3)

Story Point: 13

Historia 4: "Como operario, quiero que en caso sea necesario usar una motobomba, esta última se active después de haberse iniciado la secuencia de riego".

- **Dificultad:** media (3)
- **Complejidad:** baja (1)

- **Incertidumbre:** baja (1)

Story Point: 5

Historia 5: "Como operario, quiero que cuando haya transcurrido el tiempo de riego, primero se apague la motobomba y después se cierren las electroválvulas para evitar daños en la motobomba".

- **Dificultad:** media (3)
- **Complejidad:** baja (1)
- **Incertidumbre:** baja (1)

Story Point: 5

Historia 6: "Como agricultor, quiero que el dispositivo tenga la capacidad de controlar una motobomba para darle mayor presión al agua en caso sea necesario.

- **Dificultad:** baja (1)
- **Complejidad:** baja (1)
- **Incertidumbre:** baja (1)

Story Point: 3

Historia 7: "Como agricultor, quisiera que el dispositivo incluya sus propias electroválvulas para evitarme el trabajo de buscar esas partes fuera y/o tener problemas de incompatibilidad.

- **Dificultad:** baja (1)
- **Complejidad:** baja (1)
- **Incertidumbre:** baja (1)

Story Point: 3

Historia 8: "Como operario, quisiera poder activar de forma voluntaria las electroválvulas e iniciar una secuencia de riego manual sin depender y desconfigurar la secuencia de riego programada.

- **Dificultad:** media (3)
- **Complejidad:** media (3)
- **Incertidumbre:** baja (1)

Story Point: 8

Historia 9: "Como agricultor, quisiera poder deshabilitar la secuencia de riego de manera temporal sin borrar la configuración ya establecida. Esto sería útil cuando se tenga que realizar algún mantenimiento en las cañerías o durante las temporadas de cosecha.

- **Dificultad:** baja (1)
- **Complejidad:** media (3)

- **Incertidumbre:** baja (1)

Story Point: 5

2.2. Tecnologías utilizadas

2.2.1. ESP32:

Como cerebro del dispositivo se utilizó el *System on a Chip* ESP32 del fabricante Espressif. El ESP32 emplea un microprocesador Tensilica Xtensa LX6 de doble núcleo.



FIGURA 2.1. System on a Chip Espressif ESP32

Entre las principales características del ESP32 son:

1. Procesador:
 - a) CPU: microprocesador de 32-bit Xtensa LX6 de doble núcleo (o de un solo núcleo), operando a 160 o 240 MHz y rindiendo hasta 600 DMIPS.
 - b) Co-procesador de ultra baja energía (ULP).
2. Memoria: 520 KiB SRAM.
3. Conectividad inalámbrica:
 - a) Wi-Fi: 802.11 b/g/n.
 - b) Bluetooth: v4.2 BR/EDR y BLE.
4. Periféricos:
 - a) 12-bit SAR ADC de hasta 18 canales.
 - b) 2 × 8-bit DACs.
 - c) 10 × sensores de tacto (sensores capacitivos GPIOs).
 - d) 4 × SPI.
 - e) 2 × interfaces I²S.
 - f) 2 × interfaces I²C.
 - g) 3 × UART
 - h) Controlador host SD/SDIO/CE-ATA/MMC/eMMC
 - i) Controlador esclavo SDIO/SPI

- j) Interfaz Ethernet MAC con DMA dedicado y soporte para el protocolo IEEE 1588 Precision Time Protocol.
- k) Bus CAN 2.0.
- l) Controlador remoto infrarrojo (TX/RX, hasta 8 canales).
- m) Motor PWM.
- n) LED PWM (hasta 16 canales).
- ñ) Sensor de efecto Hall
- o) Pre-amplificador analógico de ultra baja potencia

5. Seguridad:

- a) Soporta todas las características de seguridad estándar de IEEE 802.11, incluyendo WFA, WPA/WPA2 y WAPI.
- b) Arranque seguro.
- c) Cifrado flash.
- d) 1024-bit OTP, hasta 768-bit para clientes.
- e) Criptografía acelerada por hardware: AES, SHA-2, RSA, criptografía de curva elíptica (ECC), generador de números aleatorios (RNG).

2.2.2. Pantalla TFT de 3.5 pulgadas:

2.2.3. Joystick:

2.2.4. Sensor BME280:

2.2.5. Chip FT232RL:

2.3. Herramientas y recursos de terceros