



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

DESARROLLO DE UN SERVICIO DE GESTIÓN REMOTA PARA IRRIGACIÓN

Alumno: Andrés Nieto Velázquez

Tutor: Juan Carlos Cuevas Martínez
Depto.: Ingeniería de Telecomunicación

Tutor: Manuel Fuentes Conde
Depto.: Ingeniería Electrónica y Automática

Febrero, 2020

Resumen

En este TFG (*Trabajo fin de grado*) se ha desarrollado un sistema de riego flexible, robusto y escalable con una unidad de control escalable. El sistema se ha desarrollado para permitir que el usuario puede crear distintos tipos de riego. El sistema es escalable, debido a esto se pueden agregar tantos sectores de riego como se desee. Para realizar un sistema robusto se ha implementado el sistema con una unidad de control redundante y conexiones seguras, todo construido bajo un hardware de bajo costo.

Los datos son almacenados en la base de datos remota, gracias a la aplicación web que se ha implementado en el servidor los usuarios pueden gestionar su sistema de forma sencilla y clara. Los microcontroladores acceden remotamente a las órdenes de riego almacenadas en la base de datos y ejecutar las ordenes programadas.

Además, se ha realizado un prototipo para mostrar el comportamiento del sistema, lo que permite realizar pruebas en caso de necesidad.

Este trabajo se ha elaborado teniendo presente la posibilidad de pasar de la solución de prototipo a una comercializable competitiva con el resto de dispositivos que ofrece el mercado. De ahí que se haya sido especialmente cuidadoso con la robustez y fiabilidad del prototipo y se hayan realizado extensos juegos de pruebas para pulir todos los malfuncionamientos que han surgido o pudiesen aparecer.

Abstract

In this degree thesis, a flexible, robust and scalable irrigation system is developed a scalable control unit. The system has been developed to allow the user to create different types of irrigation. The system is scalable, because of this you can add as many irrigation sectors as desired. To make a robust system, the system has been implemented with a redundant control unit and secure connections, all built under low-cost hardware.

The data is stored in the remote database. Thanks to the web application that has been implemented on the server users can manage their system easily and clearly. The microcontrollers remotely access the irrigation orders stored in the database and execute the programmed orders.

In addition, a prototype has been made to show the behavior of the system, which allows testing if necessary.

This work has been prepared keeping in mind the possibility of moving from the prototype solution to a competitive product with the rest of the devices offered by the market. For this reason, it has been especially careful with the robustness and reliability of the prototype and extensive test kits have been carried out to polish all faults that have arisen or may appear.

Índice

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	ESTADO DEL ARTE	9
2.1	Soluciones comerciales profesionales	9
2.2	Soluciones comerciales domesticas	10
2.3	Soluciones con microcontroladores	13
2.4	Conclusión	15
3	OBJETIVOS.....	16
3.1	Objetivos principales.....	16
3.2	Objetivos opcionales	16
4	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA.....	17
4.1	Sistema de control.....	17
4.1.1	Introducción a los microcontroladores	19
4.1.2	Estudio previo de los microcontroladores	20
4.1.3	Desarrollo del prototipo.....	23
4.2	Servidor	31
4.3	Aplicación Web.....	32
4.3.1	Gestión Usuario.....	34
4.3.2	Gestión administrador	36
5	Resultados: prototipo	38
5.1	Etapas de potencia	38
5.2	Sensores de nivel de agua	39
5.3	Sensor de flujo	42
5.4	Electroválvula	43
5.5	Bomba de agua.....	43
5.6	Cuerpo del prototipo.....	44

5.7	Soporte de los elementos	45
5.8	Pruebas	45
5.9	Conclusión	46
6	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	47
7	CONCLUSIONES	49
8	LÍNEAS FUTURAS	50
9	BIBLIOGRAFÍA.....	51
10	PRESUPUESTO	55
10.1	Tiempo de desarrollo	55
10.2	Nodos Maestros.....	56
10.3	Nodos Esclavos	56
10.4	Prototipo.....	57
10.5	Total del presupuesto	58
11	ANEXOS	59
11.1	ANEXO 1 Manual de usuario	59
11.1.1	¿Cómo crear una cuenta?.....	59
11.1.2	¿Cómo iniciar sesión?.....	59
11.1.3	¿Cómo añadir un riego programado?	60
11.1.4	¿Cómo borrar un riego programado?	61
11.1.5	¿Cómo puedo editar mi perfil?.....	62

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Solución profesional “AQUA”	9
Ilustración 2: Solución doméstica “Ultranatura”	10
Ilustración 3: Solución doméstica “FIXKIT”	11
Ilustración 4: Solución doméstica “AQUA SRC6”	12
Ilustración 5: Solución doméstica “Rain Bird ESP-RZXe”	13
Ilustración 6: Esquema solución adoptada	17
Ilustración 7: Diagrama sistema de control	19
Ilustración 8: Microcontrolador “Arduino uno”	20
Ilustración 9: Microcontrolador “Arduino mega”	21
Ilustración 10: Microcontrolador “ESP8266”	21
Ilustración 11: Microcontrolador “ESP32”	22
Ilustración 12: Sensor “DS12B20”	25
Ilustración 13: Sensor “HD-38”	26
Ilustración 14: Diagrama del funcionamiento el SETUP	28
Ilustración 15: Diagrama del funcionamiento del LOOP	30
Ilustración 16: XAMPP	32
Ilustración 17: Diagrama del funcionamiento de la aplicación WEB	32
Ilustración 18: Navegador PC/Smartphone	33
Ilustración 19: Aplicación WEB “Login”	34
Ilustración 20: Aplicación WEB “Registro”	34
Ilustración 21: Aplicación WEB “Editar perfil”	35
Ilustración 22: Aplicación WEB “Gestión de usuario”	36
Ilustración 23: Aplicación WEB “Gestión administrador”	37
Ilustración 24: Aplicación WEB “Gestión de nodos”	38
Ilustración 25: Esquema del prototipo	38

Ilustración 26: Etapa de potencia “Optoacoplador”	39
Ilustración 27: Etapa de potencia “Transistor TIP132”	39
Ilustración 28: Sensor de nivel del acuífero	40
Ilustración 29: Sensor de nivel del tanque	41
Ilustración 30: Sensor comercial	41
Ilustración 31: Sensor de flujo “YF-S201”	42
Ilustración 32: Actuador "Electroválvula"	43
Ilustración 33: Actuador "Bomba"	44
Ilustración 34: Cuerpo del prototipo.....	44
Ilustración 35: Soporte de los elementos	45
Ilustración 36: Manual "Registro"	59
Ilustración 37 Manual "Login"	60
Ilustración 38:Manual "Añadir riego"	61
Ilustración 39:Manual "Borrar Riego"	62
Ilustración 40:Manual "Editar perfil"	63

1 INTRODUCCIÓN

Con el aumento de la población mundial ha habido un incremento sobre la explotación agraria [1] para el abastecimiento de productos alimenticios, causando un mayor gasto energético, además del vaciado de los acuíferos subterráneos teniendo como efecto negativo su deterioro, a veces irreparable.

Además, con la constante mejora de las soluciones tecnológicas relacionadas con IOT (*Internet of Things*), el sector agrario, en muchos casos y tipos de explotación, ha quedado desbancado en cuanto a la modernización del resto de sectores, como la industria, lo que conlleva una peor optimización sobre los recursos de los que se dispone [2]. Dentro de la variedad de actuaciones que se pueden llevar a cabo para la puesta al día del sector agrario, se han elegido las relacionadas con el uso eficiente del agua, un bien de primera necesidad cuya prioridad siempre será el abastecimiento humano.

A modo de ejemplo, ya existen directivas para apoyar la modernización del sector agrario, como se refleja en el artículo 23 de la ley del 5/2011, de 6 de octubre, del olivar de Andalucía, publicada en el BOE-A-2011-17494 [3]. Aquí se destaca que la administración autonómica apoyará exclusivamente las nuevas puestas en riego y la modernización de las existentes con las que se pretenda alcanzar un uso eficaz y eficiente de los recursos hídricos y/o energéticos.

Uno de los factores más importantes en la agricultura, para obtener una buena producción, es la optimización de la irrigación dependiendo del cultivo a tratar. Entre los factores que afectan directamente a una irrigación eficaz se encuentran: el horario en que se realiza, la humedad en el terreno y la temperatura ambiente [4]. Si no se lleva un control sobre estos valores, la eficacia y eficiencia de la irrigación no es óptima originando una pérdida de recursos.

Además, en la actualidad no existen suficientes opciones en el mercado que permitan la implementación de sistemas de irrigación de bajo coste y a la vez flexibles. Ello exige realizar una remodelación completa de los sistemas existentes, implicando un gasto muy superior al que debería de suponer la modernización de los sistemas de irrigación. En la actualidad esas opciones de control se mueven en una horquilla de precios no accesible para

todos los agricultores, a los que hay que sumar los dispositivos mecánicos que hay que situar en los sistemas (válvulas, motores, sensores) y la mano de obra especializada que ello implica. Esa es la razón de indagar en las opciones existentes para conseguir un sistema que facilite la optimización del riego sin un desembolso inicial elevado, manteniendo las características de fiabilidad de los sistemas comerciales a un coste mucho más reducido.

Teniendo presente los aspectos expuestos en los párrafos anteriores se ha concebido este TFG con el objetivo de paliar y, en algunos casos, dar una solución óptima, dentro del abanico de posibilidades que ofrecen los sistemas de hardware de bajo coste, cuya evolución es continua, al regadío dentro del sector agrícola. Además, la solución que se proponga también se pretende que sea adaptable a niveles domésticos que requieran un uso responsable de un elemento esencial como es el agua.

2 ESTADO DEL ARTE

En este apartado se van a exponer las opciones existente para la problemática planteada, la de controlar los sistemas de riego de forma óptima con un coste contenido. Se han agrupado en soluciones comerciales profesionales, soluciones comerciales domésticas y soluciones con microcontroladores.

2.1 Soluciones comerciales profesionales

- AQUA [5]: Es un sistema de irrigación comercial creado por la empresa BrioAgro, este sistema consta de una centralita para gestionar la irrigación, las características principales de este sistema son:
 - Aplicación para Smartphone que permite la gestión remota.
 - Control de fertilización.
 - Previsión meteorológica.
 - Sensores de presión de tuberías.
 - Sistema de detección de fuga de agua.



Ilustración 1: Solución profesional "AQUA"¹

¹ <https://brioagro.es/aqua-riego-inteligente-olivar/>

2.2 Soluciones comerciales domesticas

- Ultraturatura [6]: Es un sistema de irrigación programable doméstico creado por la empresa Ultraturatura, este sistema está pensado para el riego de las plantas de un hogar cualquiera, aunque también se podría utilizar para el riego de un pequeño huerto. Características:
 - Pantalla LCD.
 - Límite de hasta 10 plantas.
 - Consta de una bomba para la distribución del agua.
 - Sin control remoto.
 - Precio: 29,90€.



Ilustración 2: Solución doméstica “Ultraturatura²”

- FIXKIT [7]: Es un sistema de irrigación que se caracteriza por ir directamente conectado a un grifo de agua, este sistema está pensado para pequeños regadíos, aunque es escalable, dependerá de la presión del grifo para el suministro de agua. Características:
 - Pantalla LCD para la programación.
 - Usa pilas AAA.

² <https://ultraturatura.net/es/producto/ultraturatura-200100001043-sistema-de-riego-automatico-para-plantas-para-vacaciones/>

- Número de plantas ilimitado en función de la presión del agua de la red y de la que pueda soportar el grifo.
- Precio: 19,99€ - 27,99€.



Ilustración 3: Solución doméstica “FIXKIT”³

- Productos AQUA CONTROL [8]: En este caso se tiene una empresa dedicada a sistemas de irrigación que trabaja con sistemas de regadíos pequeños y medianos. Como ejemplo, se muestra su solución AQUA CONTROL SRC6 que tiene las siguientes características:
 - Límite de 6 zonas.
 - Máxima duración de riego 99 minutos.
 - Requiere la adquisición de electroválvulas.
 - Sin control remoto.
 - Precio: 158,97 €.

³ <https://www.amazon.es/Temporizador-Controlador-Inteligente-Electr%C3%B3nico-Irrigaci%C3%B3n/dp/B07C8HBM2S/>



Ilustración 4: Solución doméstica “AQUA SRC6⁴”

- Rain Bird [9]: Es otra empresa que se especializa en riegos para residencias, campos deportivos (futbol, golf, etc...) y agrícolas. Esta empresa ofrece desde centralitas para el control de los riegos, hasta los componentes para el montaje de estos, como serían las electroválvulas, tuberías, difusores, aspersores, etc.

Como ejemplo , se escoge la centralita Rain Bird ESP-RZXe que ofrece las siguientes características:

- Límite de 6 zonas.
- Pantalla LCD.
- Control remoto por aplicación de Smartphone.
- Requiere la adquisición de electroválvulas.
- Precio: 65,00. €

⁴ http://aquacenter.es/pdf/catalogo_pdf_07.pdf



Ilustración 5: Solución doméstica “Rain Bird ESP-RZxe⁵”

2.3 Soluciones con microcontroladores

- Arduino One con sensores [10]: este sistema controla una pequeña bomba de riego poniendo como condiciones la temperatura y la humedad del ambiente además de la humedad de la tierra. Características:
 - Uso de Arduino One.
 - Uso de los sensores DHT11 (temperatura y humedad ambiente) y YL-69 (Humedad de la tierra).
 - Sin electroválvulas lo que permite regar un solo sector.
 - Sin control remoto ni gestión de datos.
 - Sin control de errores.
 - Precio:15€-20€.
- Arduino Mega +ESP8266 con sensores [11]: sistema que con el usa un Arduino mega para el control de irrigación junto con un ESP8266 para la conexión remota. Además, el sistema usa sensores de temperatura, humedad y presión ambiente, junto con un sensor de humedad en tierra (SEN0193). Características:
 - Uso de Arduino Mega.

⁵ <https://www.rainbird.es/productos/programadores/programador-de-la-serie-esp-rzxe>

- Uso de sensor de temperatura, humedad y presión ambiente (BME/P280) y sensor de humedad en tierra (SEN0193).
- Uso de reloj de tiempo real (RTC *Real Time Clock*)
- Lector de tarjetas.
- Sin control de errores.
- Control remoto mediante aplicación WEB.
- Precio: 30€-40€.
- Arduino Leonardo con sensores [12]: esta placa usa un microcontrolador ATmega32U4. Los sensores de control que se usan en este sistema son un LDR (sensor de luminiscencia) y un FC-28 (Sensor de humedad en el suelo). Además, este sistema cuenta con una pantalla y un teclado numérico para la configuración. Características:
 - Uso de Arduino Leonardo
 - Uso de sensor de luminiscencia (LDR) y sensor de humedad (FC-28)
 - Pantalla LCD.
 - Teclado numero
 - No cuenta con control remoto ni de errores.
 - Precio: 24€-30€.
- RaspBerry pi con sensores [12.5]: Este sistema de riego contra de una RaspBerry pi, un sensor de humedad y las tuberías. Características:
 - Sin conexión remota.
 - Uso de sensor de humedad.
 - Sin control de errores.
 - Precio: 90€-120€.
- RaspBerry pi con control de bomba [12.6]: Este sistema usa una RaspBerry pi para el control de una pequeña bomba de agua para gestionar los riegos. Características:
 - No incluye ningún tipo de sensor.
 - Sin control de errores.
 - Sin conexión remota.
 - Precio: 100€-130€.

2.4 Conclusión

La conclusión a la que se ha llegado es que las soluciones comerciales profesionales tienen un buen control y escalabilidad, pero no tienen flexibilidad alguna debido a que lo que ofrecen es una solución integral con todo el sistema montado por la compañía, sin tener la opción de reutilizar los componentes que ya se estuvieran usando previamente.

En el caso de las soluciones comerciales domesticas se ha visto que son buenas para pequeñas plantaciones, o para el riego de plantas domésticas, pero no constan de ningún tipo de control de errores, tienen mala escalabilidad y la mayoría no tiene control remoto.

Para finalizar, las soluciones con microcontroladores, a pesar de su bajo costo, no llegan a tener un control sobre los posibles errores en el sistema. Algunas no tienen control remoto y no usan ningún tipo de seguridad en sus conexiones.

3 OBJETIVOS

Teniendo en cuenta los antecedentes que se han estudiado en la sección anterior, se fijaron los objetivos que pretenden dar solución a los problemas planteados. Para ello se han clasificado en principales y opcionales.

3.1 Objetivos principales

- Desarrollo de un prototipo de control de irrigación automatizado:
 - Hardware de bajo coste.
 - Capacidad de proceso y comunicaciones.
 - Control de varios sectores de riego por dispositivo de red.
 - Control de riego programable remotamente con calendario/hora.
- Portal de servicio
 - Vista administrador:
 - Gestión de usuarios.
 - Gestión de puntos del servicio de riego.
 - Vista usuario:
 - Gestión del perfil de usuario.
 - Gestión de los puntos de riego.

3.2 Objetivos opcionales

- Control de riego por humedad y/o temperatura.

4 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

En este apartado se explicará el desarrollo e implementación de la solución final adoptada teniendo en cuenta los objetivos del TFG, junto con la comparativa de los distintos microcontroladores que se podrían utilizar y por qué se ha optado por estos. La presente sección está dividida en la descripción del sistema de control, el servidor HTTP desplegado, la aplicación web para la gestión además del prototipo funcional para las pruebas de funcionamiento del sistema.

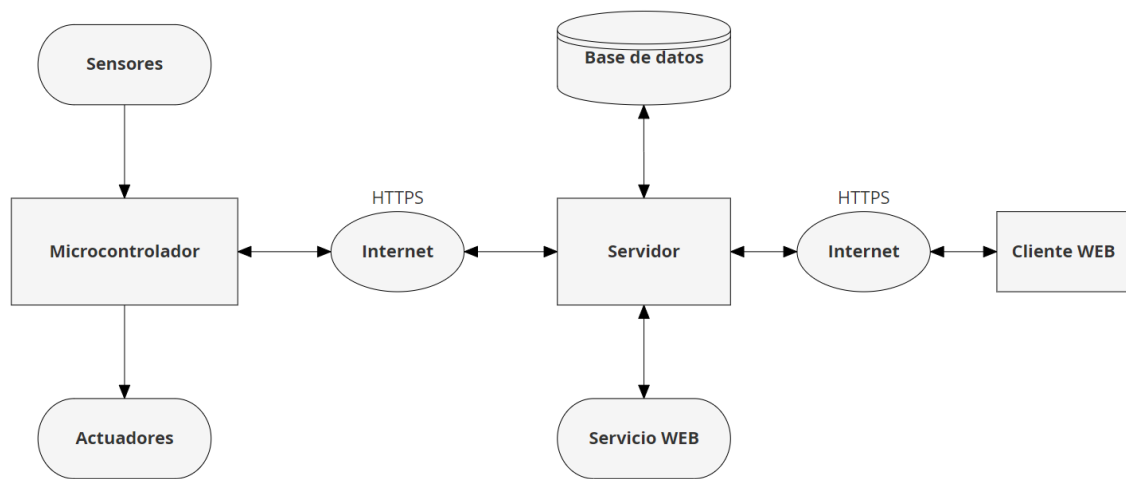


Ilustración 6:Esquema solución adoptada.

Como se muestra en la *Ilustración 6:Esquema solución adoptada*, los microcontroladores gestionan los actuadores en función de la información recibida por los sensores y por el servidor. El servidor está compuesto por una base de datos para almacenar la información y una aplicación WEB que permite la gestión de los sistemas de irrigación de forma remota.

4.1 Sistema de control

Un sistema de control está compuesto por una serie de dispositivos que permiten gestionar el funcionamiento del sistema al que va dirigido. Los sistemas de control pueden estar compuestos por sensores, actuadores y los dispositivos que controlan los actuadores en función de la información recibida por los sensores. El sistema de control creado para este TFG es el encargado de gestionar el funcionamiento de los distintos componentes que tendrá

el sistema de irrigación. En este sistema se tendrán tres tipos de nodos, uno maestro, uno de respaldo para el maestro y el resto serán esclavos. Los nodos serán microcontroladores que gestionaran el funcionamiento del sistema.

La razón de esta distribución se debe a que los microcontroladores tienen un número limitado de conexiones, y aunque éstas se pueden ampliar usando otros componentes, el precio no se incrementaría ostensiblemente. Además, esto da la opción de que, si las electroválvulas de los sectores no estuvieran cerca unas de otras, se pudiera cubrir dicha distancia con el uso de los microcontroladores y/o repetidores wifi.

El nodo que se ha denominado maestro será el encargado de gestionar el funcionamiento de la bomba y de un sector de irrigación, el nodo denominado de respaldo entrara en estado de hibernación y despertara periódicamente para comprobar el estado del nodo maestro, en caso de que el maestro no funcionara él se autoproclamaría maestro para ejecutar sus funciones, y los denominados esclavos gestionaran hasta dos sectores de irrigación.

Para la gestión de la bomba de agua se tendrán en cuenta los niveles del agua en el acuífero para así proteger la bomba ya que si se activará sin agua podría dañarse y en el tanque de agua, tanto en la parte inferior, para detectar cuando está cerca de vaciarse, como en la parte superior, para detectar cuando se ha llenado.

Para la gestión de cada sector se tendrá en cuenta la temperatura ambiente y la humedad en el terreno. Como control de seguridad también se tendrá en cuenta un sensor de flujo que nos indicará si la electroválvula actúa según lo esperado.

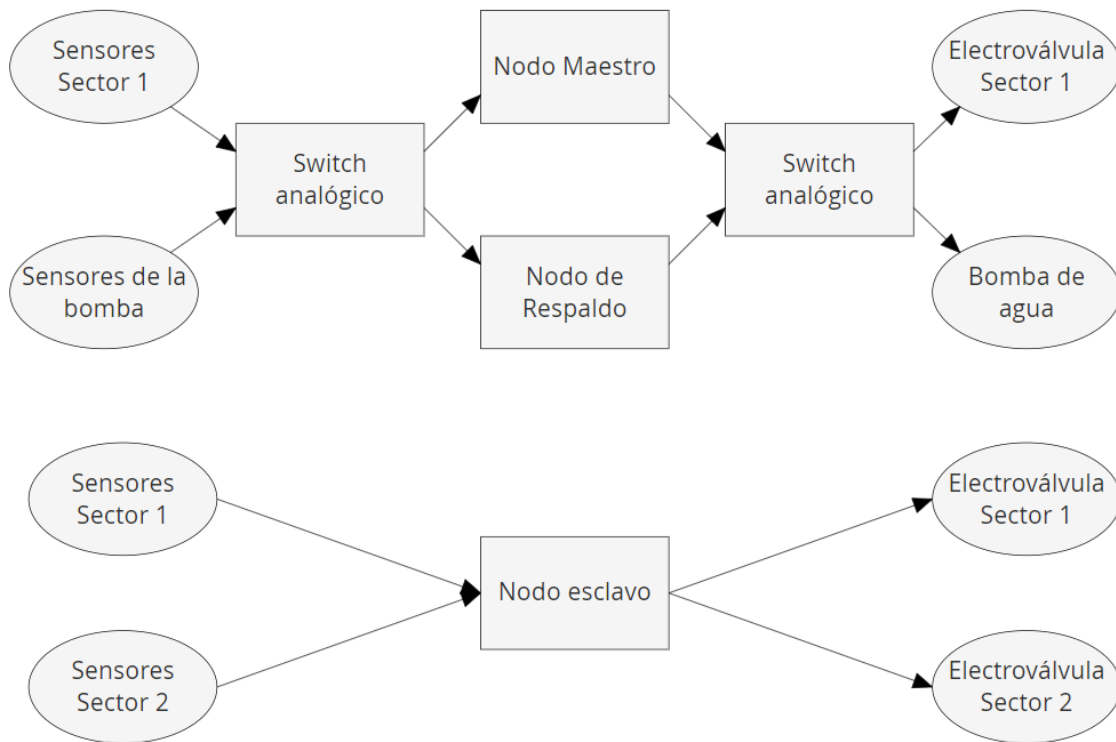


Ilustración 7: Diagrama sistema de control

Como se muestra en la *Ilustración 7: Diagrama sistema de control* tanto el nodo maestro como el respaldo estarán conectados a switches analógicos que cambiarán el control de los sensores y los actuadores en función de cuál de los nodos sea el que esté en funcionamiento, ya que si no se hiciera mediante el uso de switches los nodos no funcionarían correctamente. El modelo de switch analógico escogido ha sido el CD4066B. En el caso de los nodos esclavos esto no será necesario.

4.1.1 *Introducción a los microcontroladores*

Desde la creación del primer microprocesador lanzado por Intel en 1971 [13] existe la problemática de que se requieren circuitos adicionales para crear un sistema de trabajo funcional, lo que se traduce en un costo superior.

En 1974 [13] unos ingenieros de Texas Instruments crearon el primer microcontrolador que dentro del mismo chip tenían la memoria ROM, memoria RAM, reloj y microprocesador.

Desde entonces los microcontroladores se diseñaron para reducir el costo y mejorar el consumo energético de los sistemas a los que iban dirigidos.

4.1.2 Estudio previo de los microcontroladores

Los microcontroladores que se han decidido estudiar han sido los de la familia ATmel. Estos microprocesadores tienen un costo muy inferior al de sus competidores como podrían ser las minicomputadoras RaspBerry, ODROID y ASUS Tinker Board entre otros, que tienen una potencia muy superior pero también tienen un costo entre 90€ y 130€ haciendo que no sean viables para el desarrollo del proyecto dado que uno de los objetivos es el uso de software de bajo costo.

- **Arduino one** [14]: esta placa está basada en el microchip ATmega328P consta de 14 pines digitales y 6 pines analógicos. No consta de modulo wifi. Tiene un precio aproximado de 10€.



Ilustración 8: Microcontrolador “Arduino uno”⁶

- **Arduino mega** [15]: es el microcontrolador más potente de la familia Arduino, consta de 54 pines digitales y 16 entradas analógicas. No consta de modulo wifi incorporado. Tiene un precio aproximado de 14€.

⁶ <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>



Ilustración 9: Microcontrolador “Arduino mega⁷”

- **ESP8266** [16]: este es el microcontrolador de bajo costo más usado hasta la fecha, cuenta con 13 pines digitales de los cuales no todos son usables debido a que tienen una función por defecto y 1 pin analógico. Consta de modulo wifi incorporado. Tiene un precio aproximado de 4€.

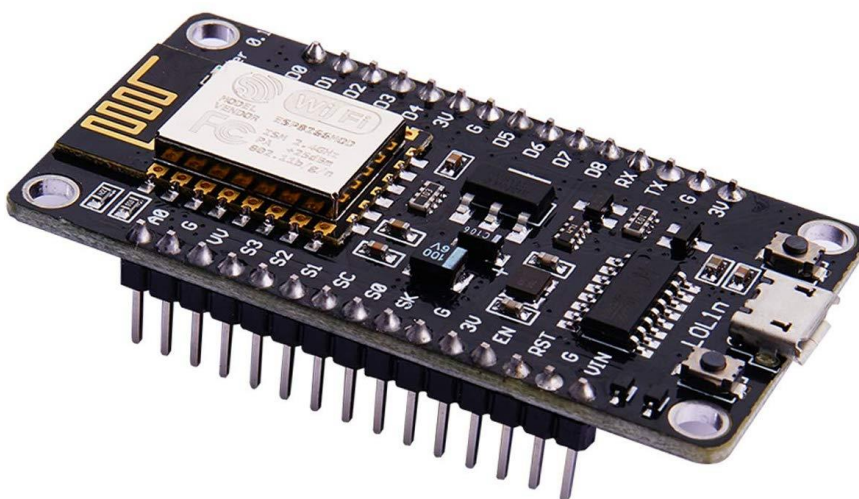


Ilustración 10: Microcontrolador “ESP8266⁸”

- **ESP32** [17]: este microcontrolador es el sucesor del ESP8266, cuenta con 25 pines digitales de los cuales 15 tienen la posibilidad de ser usados como analógicos. Esta

⁷ <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>

⁸ <https://es.banggood.com/Geekreit-Doit-NodeMcu-Lua-ESP8266-ESP-12F-WIFI-Development-Board-p-985891.html>

placa tiene mayor potencia de procesamiento y una mejora del consumo energético. Consta de módulo wifi incorporado. Tiene un precio aproximado de 8€.

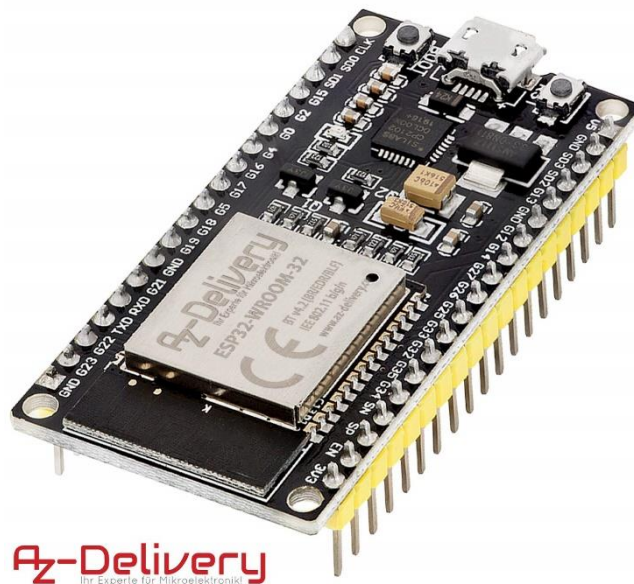


Ilustración 11: Microcontrolador “ESP32”⁹

4.1.2.1 Conclusión

Tras el estudio de los microcontroladores anteriormente mencionados se ha llegado a la conclusión de que arduino uno y arduino mega tienen el número de pines necesarios para la realización del prototipo, sin embargo, no constan de módulo wifi integrado y el costo se vería incrementado por lo que se han descartado para la realización del prototipo.

En lo que se refiere a los microcontroladores ESP8266 y ESP32 ambos constan de módulo wifi integrado y son de bajo costo, sin embargo, en el caso del ESP8266 no consta del número de pines necesarios para la realización del prototipo, por lo que finalmente se ha optado por el uso del microcontrolador ESP32.

⁹ <https://www.amazon.es/AZDelivery-NodeMCU-ESP-WROOM-32-Tablero-Desarrollo/dp/B071P98VTG/>

4.1.3 *Desarrollo del prototipo*

El prototipo de nodo tiene tres variantes, el maestro, el respaldo y el esclavo. Gracias a los nodos esclavos que no necesitan estar cerca de la bomba que extrae el agua del acuífero se puede cubrir la distancia (en el caso de que la hubiera) entre los sectores de irrigación.

El nodo maestro tiene la función de controlar la bomba de agua para el suministro de esta al tanque y además puede gestionar un sector de irrigación.

El nodo de respaldo entrara en funcionamiento solo y exclusivamente cuando compruebe que el nodo maestro ha dejado de funcionar.

El nodo esclavo tiene la función de controlar hasta dos sectores de irrigación.

Para cada sector de irrigación serán necesarios 2 sensores para el control, uno de temperatura ambiente y uno de humedad en el terreno, este último permitirá además de tener un control sobre la humedad del suelo el cancelar riegos programados en el caso de que el terreno exceda una humedad previamente programada, como se podría dar en el caso de lluvia y no fuera necesario la ejecución de dicho riego.

4.1.3.1 *Nodo maestro*

El nodo maestro es el nodo más importante de todos en el sistema dado que si el fallara no habría agua para la ejecución de los riegos, por esta razón a este nodo se le ha implementado un sistema de respaldo por el cual, si el nodo falla, automáticamente arrancarías un nodo secundario, este se encontraría previamente en estado de hibernación para optimizar el consumo energético.

En lo referente a la parte de control de la bomba de agua, se tendrán en cuenta los niveles de agua en el subsuelo para evitar que la bomba trabaje sin agua, lo que provocaría que esta se quemara, y también se tendrán en cuenta los niveles de agua en el depósito del agua para así poder indicar a la bomba cuando arrancar y cuando parar.

En la parte de control de irrigación en el/los sector/es se tendrá en cuenta la temperatura ambiente y la humedad del terreno para indicar a la electroválvula cuando se debe abrir o cerrar. Además, como medida de seguridad se tendrá en cuenta un sensor de flujo a la salida de la electroválvula para saber si funciona conforme a lo esperado y en caso contrario avisar al usuario mediante un email.

4.1.3.2 *Nodo esclavo*

El nodo esclavo tiene la capacidad de trabajar hasta con dos sectores debido a que no necesita llevar el control de ninguno de los sensores de la bomba.

Su funcionamiento será el mismo que el ya explicado en el apartado 4.1.3.1 sobre el funcionamiento de el/los sector/es de irrigación.

4.1.3.3 *Sensores*

El sensor de temperatura para la fabricación del prototipo que se ha elegido ha sido el DS12B20 que es la versión a prueba de agua del DS18B20 [18] creado por la compañía Dallas que proporciona una medida de temperatura en Celsius de 9-bit a 12-bit. Este sensor funciona usando 1-Wire bus que por definición requiere solo una conexión para transmitir los datos y tierra para la conexión con el micro procesador.

Cuenta además con un encapsulado impermeable haciéndolo perfecto para el uso en campo abierto.

Características:

- Mide temperatura desde -55°C hasta 125°C
- Voltaje de funcionamiento entre 3V y 5.5V
- Entre -10°C y 85°C su error es de $\pm 0.5^\circ\text{C}$
- Tiene un consumo aproximado de 1 mA en modo activo

Debido a sus características, a su encapsulado y a su costo ha sido el sensor que mejor se adapta a nuestras características constructivas.



Ilustración 12: Sensor “DS12B20¹⁰”

El sensor de humedad para la fabricación del prototipo que se ha elegido ha sido el HD-38 [19], este sensor tiene dos salidas, una digital y otra analógica. Gracias a un potenciómetro se podrá ajustar y en el caso de la patilla digital que proporciona un valor binario se ajustará con dicho potenciómetro, en el caso de la patilla analógica proporciona un voltaje variable dependiendo de la humedad del terreno.

Características:

- Tamaño: 36*15*7 mm
- Voltaje: DC 3.3-12V
- Corriente: <20mA
- Temperatura de funcionamiento: -25 ~ 85 Celsius

Además, para este caso la sonda que va a tierra está protegida contra la corrosión y el óxido lo que la hace perfecta para el uso que se le va a dar y teniendo en cuenta sus características y su costo se ha optado por este modelo.

¹⁰ <https://www.robotistan.com/waterproof-ds12b20-digital-temperature-sensor>



Ilustración 13: Sensor “HD-38¹¹”

Con respecto al sensor de flujo se necesitaría uno que pudiera proporcionar una señal de pulsos cuadrados, que es lo necesario para que el microcontrolador pueda comprobar si hay paso de agua o no.

4.1.3.4 Diagramas de flujo

Los microcontroladores del tipo arduino tiene dos funciones principales, el SETUP que es el encargado del código de arranque que se ejecuta una sola vez y el LOOP que será el código que se ejecuta en bucle.

El sistema se rige por una serie de parámetros que están configurados en los dispositivos, uno de ellos es el *priority id* que es el encargado de hacer saber al microcontrolador si es maestro, de respaldo o esclavo. Además, este parámetro sirve para numerar los sectores de irrigación, por ejemplo el *priority id* 0 corresponder al microcontrolador maestro y como solo puede gestionar un sector será denominado como sector 1, el *priority id* 1 es el de la placa de respaldo y por ultimo todo aquel *priority id* superior a 1 será microcontrolador esclavo, por ejemplo el microcontrolador con el *priority*

¹¹ <https://www.ebay.es/itm/Soil-Humidity-Hygrometer-Moisture-Detection-Sensor-w-Corrosion-Resistance-Probe-/163178000976>

id 2 tendría asignados los sectores 2 y 3 al poder gestionar hasta dos sectores y así continuaría con el resto de *priority id* asignados.

- SETUP:

- Para comenzar el programa lee los datos de la placa y los datos de riego que se tenga almacenados en la EEPROM. La EEPROM es la memoria interna no volátil del dispositivo que nos permite almacenar cierta cantidad de bytes por si se tuviera cualquier fallo y se reiniciara el dispositivo poder recuperar dicha información. En este dispositivo se almacenan los datos que permiten al dispositivo funcionar sin conexión a internet.
- Después, el programa tratará de conectarse a la red wifi con un límite de intentos, si todos fallaran el programa continuaría sin conexión hasta llegar al LOOP, momento en el que el programa reintentaría la conexión.
- Si es la primera vez que se ejecuta el SETUP, la placa se registrará en la base de datos con el ID de usuario que se le haya asignado previamente en su configuración y con su propia ID de placa.
- Después el programa, en caso de tener conexión, hará una consulta a la base de datos del servidor pidiendo los datos del usuario y su *priority id*, id que usará para saber si las ordenes de riego van dirigidas a ella o no.
- Para finalizar el SETUP, el programa configura el estado de los pines dependiendo de si es un microcontrolador esclavo o maestro y ajustará la hora con la del servidor haciendo otra consulta.

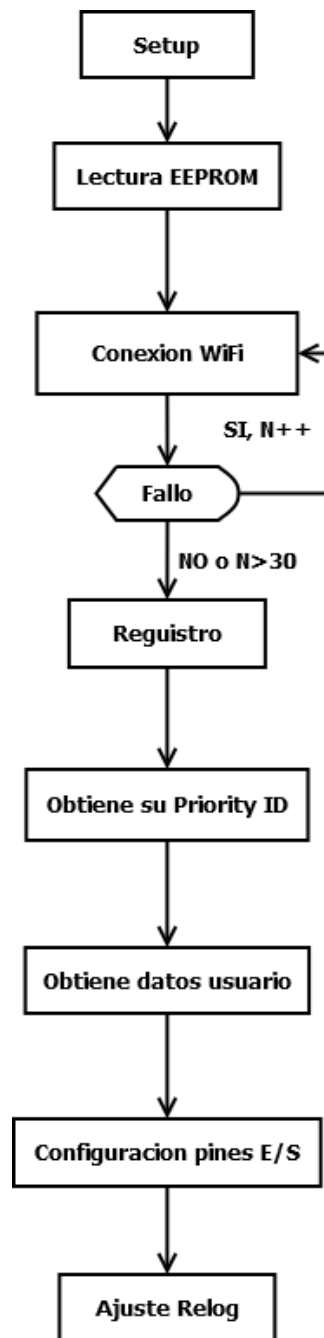
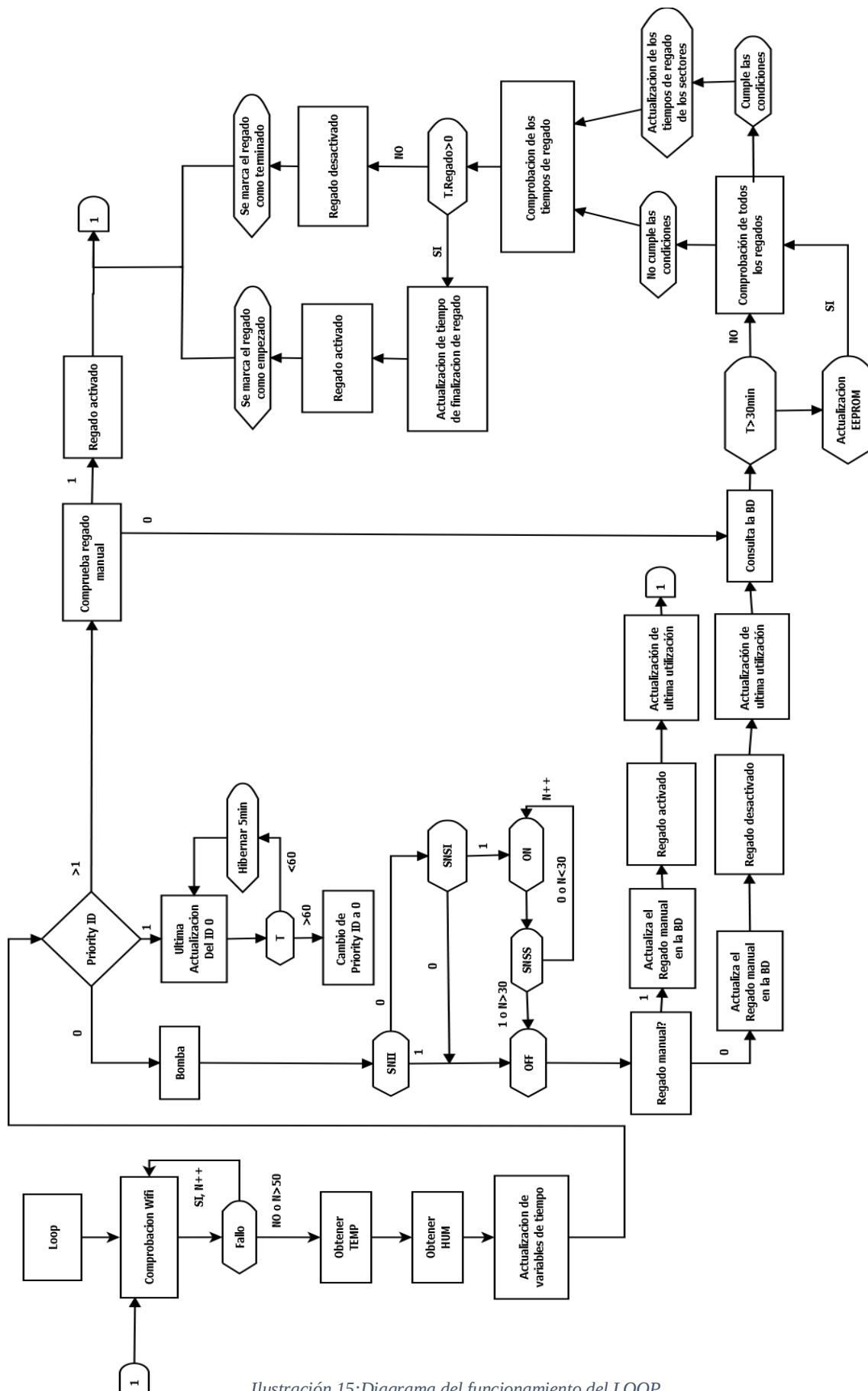


Ilustración 14: Diagrama del funcionamiento el SETUP

- LOOP:
 - Al comienzo del LOOP siempre se comprobará la conexión con Internet del dispositivo y en caso de que no hubiera conexión se trataría de reparar la conexión durante un número limitado de intentos. Si se supera este número el programa continuaría su ejecución.
 - En el siguiente paso se actualizarían las variables de los datos de los sensores de humedad y de temperatura.
 - Además, se actualizarán las variables de tiempo del dispositivo, variables que se usarán para las comprobaciones temporales en ese ciclo de trabajo.

- Ahora el programa llegará a un condicional que dependiendo del *priority id* del dispositivo actuará de una forma u otra.
- *Priority id*:
 - **0**: este id es el que se le asigna a la placa maestra, lo primero que hará será comprobar si la bomba de agua debe de arrancar para el llenado del tanque, si fuera necesario y se pudiera. Después comprobará si el riego manual está activado, riego que se activará con un interruptor físico. En caso de estar activo, se activaría el riego de los sectores e informaría a la base de datos de que el riego manual está activo. Para terminar, en este caso, actualizaría la última utilización de la placa maestra en la base de datos, para así saber que está funcionando y volvería a comenzar el bucle. En el caso de que no estuviera activo el riego manual el programa continuaría.
 - **1**: este id es el que se le asigna a la placa de respaldo, se despertará cada cierto tiempo para comprobar el último tiempo de utilización de la placa maestra. Si este tiempo excediera otro tiempo previamente programado marcaría en la base de datos la maestra como estropeada con id -1 y se pondría la placa de respaldo como id 0 para tomar el control como maestra. En caso contrario volvería a hibernar para mejorar el consumo energético.
 - **>1**: todo id mayor que 1 será placa esclava, lo que deberá de hacer antes de continuar el programa es comprobar el riego manual en la base de datos, dato que habrá suministrado la placa maestra a la base de datos. Si lo encuentra activo, simplemente activaría el riego de los sectores que le correspondan. En caso contrario el programa continuaría.
- El siguiente paso sería consultar en la base de datos los riegos correspondientes para la placa.
- Una vez consultados y si ha pasado media hora desde la última vez que se actualizase la EEPROM, esta será actualizada. Este proceso se realiza cada media hora debido a que la EEPROM, como cualquier sistema de almacenamiento tiene un número máximo de lecturas y escrituras y al ampliar el tiempo entre escrituras se incrementa el tiempo de vida de los microcontroladores.
- Posteriormente se comprobará si alguno de los riegos cumple todas las condiciones impuestas. En caso afirmativo actualizará los tiempos de riego del sector o sectores correspondientes. Para finalizar se activarán los sectores cuyo tiempo de riego sea mayor a 0 y si se comenzara algún riego se marcará como empezado. Si el tiempo llega a 0 se marcará como terminado en la base de datos y volverá a comenzar el bucle.



4.2 Servidor

Para el desarrollo del proyecto uno de los puntos necesarios es un servidor capaz de gestionar una base de datos y las conexiones de forma segura usando HTTP sobre SSL/TLS.

Para la implementación de este se ha usado la herramienta XAMPP [20] que contiene MySQL [21] y Apache [22], complementos necesarios que se utilizarán en el proyecto.

MySQL es un motor de gestión de base de datos distribuido que permite almacenar la información en tablas y después obtener dicha información mediante consultas SQL a la base de datos.

Apache es un servidor HTTP que permite el acceso a código almacenado en el host remoto desde un navegador, como pueden ser páginas web en lenguaje HTML o la ejecución de archivos PHP para las consultas a la base de datos. Además, permite configurar el envío de correos electrónicos usando servidores SMTP externos. Otra de las opciones configurables son las conexiones seguras [23] mediante SSL (Secure Sockets Layer) [24] empleando certificados X.509. El protocolo SSL cifra la información de las conexiones para evitar que cualquier persona que intentara leer dicha información pudiera acceder de manera sencilla. Además, aplica técnicas de autenticación de mensaje que permiten identificar al emisor, así como detectar cualquier modificación que pueda sufrir en la red (ya sea accidental o maliciosa).

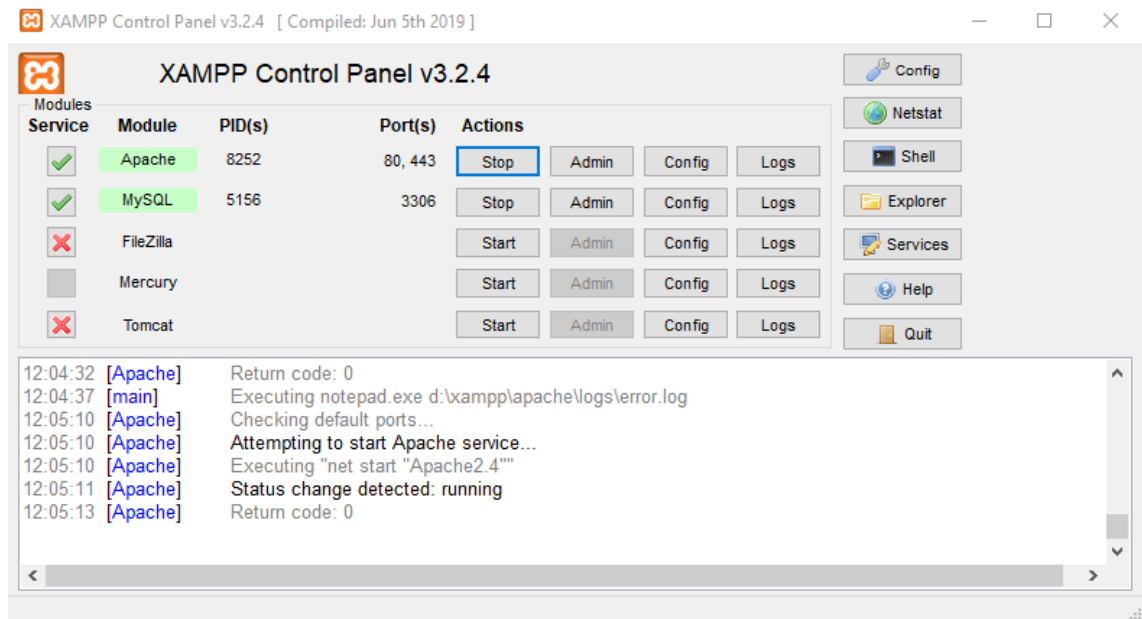


Ilustración 16:XAMPP

4.3 Aplicación Web

Como aplicación web se ha decidido realizar una página web con HTML5 [25], CSS [26] y PHP [27]. Gracias al uso de estos lenguajes se ha conseguido una web limpia, simple y con conexión con la base de datos del servidor, lo que permitirá realizar los trámites necesarios para añadir, borrar o modificar información.

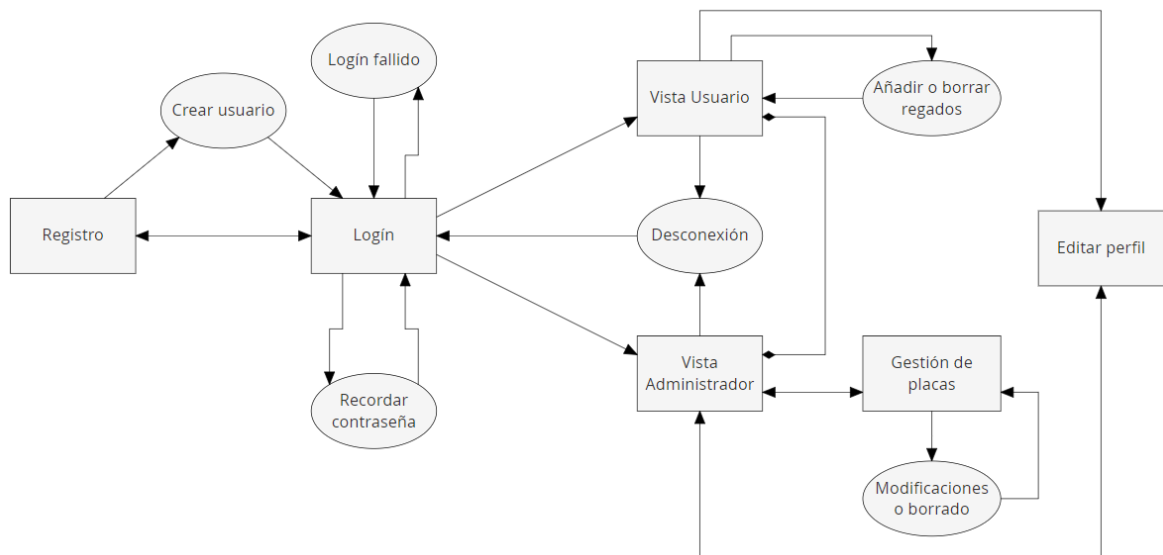


Ilustración 17:Diagrama del funcionamiento de la aplicación WEB

La aplicación se ha optimizado tanto para su uso en navegador de escritorio como para el navegador de un teléfono móvil.

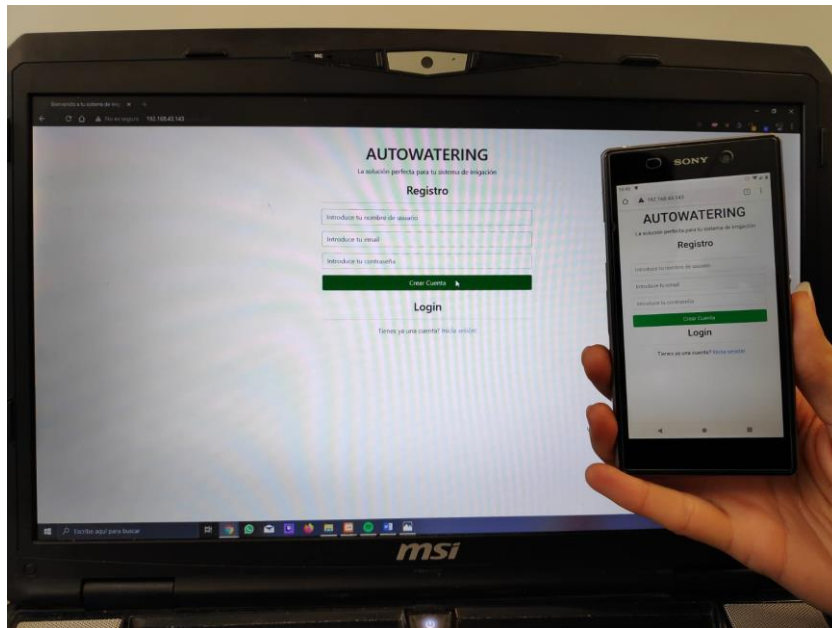


Ilustración 18: Navegador PC/Smartphone

La pantalla principal de la página será la que se muestra en la Ilustración 19, que proporciona un formulario de autenticación (*login*) para que puedan acceder los usuarios y administradores con sus datos de acceso. Además, dará la opción de registrarse (Ilustración 20), acción que será necesario realizar previamente a la instalación, dado que proporcionará al usuario su ID que será usado para la configuración de los microcontroladores.

16:16 ... 192.168.43.143/login.php

Login

Email

Contraseña

Login

[Has olvidado tu contraseña?](#)

Usuario nuevo? [Crea una cuenta.](#)

Ilustración 19: Aplicación WEB “Login”

16:16 ... 192.168.43.143/index.php

AUTOWATERING

La solución perfecta para tu sistema de irrigación

Registro

Introduce tu nombre de usuario

Introduce tu email

Introduce tu contraseña

Crear Cuenta

Login

Tienes ya una cuenta? [Inicia sesión!](#)

Ilustración 20: Aplicación WEB “Registro”

4.3.1 Gestión Usuario

Si un usuario se autentica correctamente accederá a la página de gestión de sus sectores. En dicha página podrá añadir nuevos riegos y borrar los ya existentes. En una tabla se mostrarán los riegos que ya tiene programados, y usando del ID de estos riegos, podrá borrarlos.

Otra de las opciones que tendrá será la de modificar los datos de su perfil (Ilustración 21), entre ellos su contraseña, su correo, su nombre de usuario y el porcentaje de humedad máximo que permite en sus riegos.

16:17 192.168.43.143/edit-profile

Bienvenido: AndresNV

Edita tu perfil

Nombre de usuario:

Email:

Contraseña:

Humedad maxima:

[Modificar](#)

[volver a la pagina de usuario](#)

Ilustración 21: Aplicación WEB “Editar perfil”

Para añadir nuevos intervalos de riego el usuario deberá seleccionar el sector sobre el que quiere que se realicen los riegos. Acto seguido podrá elegir entre cuatro tipos de riego, dependiendo del riego elegido se habilitarán las entradas para que solo pueda introducir lo necesario:

- **Regado en el momento:** como su nombre indica, en el momento que se añada este riego y se seleccione el tiempo que se quiere regar, se iniciará el mismo.
- **Regado diario:** el usuario podrá seleccionar la hora a la que quiere que cada día comience el riego, así como el tiempo de duración para el riego.
- **Regado por temperatura y humedad:** en este riego el usuario podrá seleccionar la temperatura máxima y el porcentaje máximo de humedad para en el momento en el que esos dos valores se encuentren por debajo de lo indicado se comience a regar y además seleccionará el tiempo que quiere que se riegue una vez se cumpla esa condición.
- **Regado programado por día y hora:** el usuario podrá seleccionar una fecha concreta, junto con la hora de inicio y el tiempo que quiere que dure el riego en dicho día.

16:17 192.168.43.143/user.php

Bienvenido AndresNV

[Editar perfil](#) [Desconectar](#)

Añadir regado

Tipo de regado:
Instantaneo

Sector: 1

Duracion(minutos):
0

[Añadir](#)

Tabla de regados

En esta tabla puede seleccionar y borrar el riegos programados

Tipo	Sector	Datos
☐ T/H	1	Duracion=15min Temperatura=25°C Humedad=80% Ultimo uso=Nunca

[Borrar](#)

Ilustración 22: Aplicación WEB “Gestión de usuario”

4.3.2 Gestión administrador

En el caso de que un administrador se autentificará correctamente le llevará a una página distinta a la de un usuario normal. Desde la página de administración (Ilustración 23), el administrador tendrá un listado de los usuarios y podrá modificar cualquier dato de estos en el caso de que fuera necesario, como entrar a un perfil de usuario para realizar gestiones, realizar modificaciones sobre los microcontroladores asignados al usuario y dar de baja usuarios.

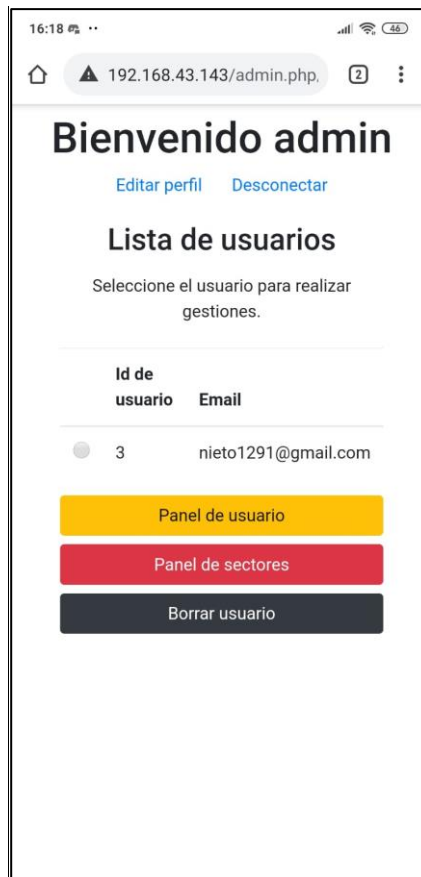


Ilustración 23: Aplicación WEB “Gestión administrador”

Si el administrador selecciona cualquier usuario, podrá hacer las gestiones que este quiera sobre el mismo.

Además, si selecciona un usuario y pulsa sobre “Panel de usuario” este será redirigido a la web del usuario seleccionado. En el caso de que pulsara sobre “Panel de sectores” se le mandaría a una nueva página en la que podría gestionar los microcontroladores asignados al usuario (Ilustración 24).

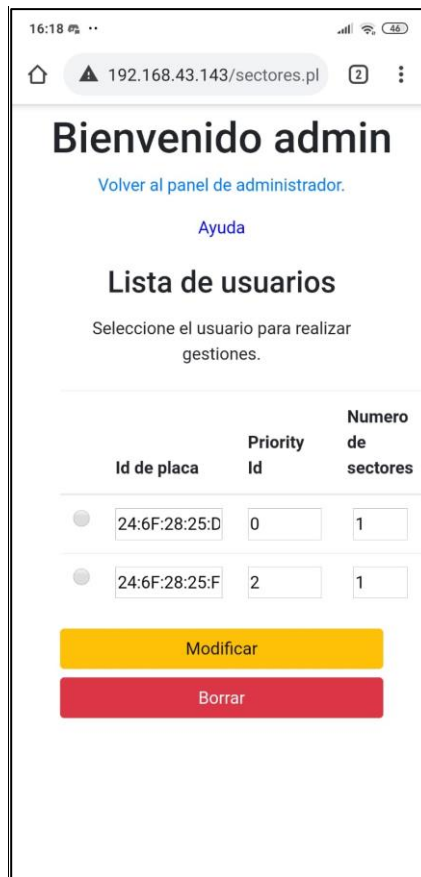


Ilustración 24: Aplicación WEB “Gestión de nodos”

5 Resultados: prototipo

5.1 Etapa de potencia

En lo referente a la etapa de potencia se ha diseñado de forma que quede aislada la parte de control de la parte de alimentación, para evitar así cualquier subida de tensión que pudiera dañar los microcontroladores. Teniéndolo en cuenta se ha decidido usar un optoacoplador [28] como interruptor que activará un transistor que será el encargado de proporcionar la alimentación a los actuadores.

El optoacoplador está formado por un led y un receptor óptico de tal forma que cuando el led se enciende por la señal del microcontrolador da luz al receptor óptico y este permite el paso de la corriente. El modelo de optoacoplador que se emplea es el 4N35 [29].

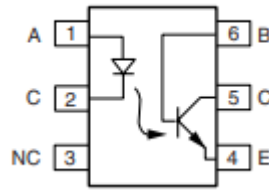


Ilustración 25: Etapa de potencia “Optoacoplador¹²”

El transistor [30] tiene 3 terminales, base, colector y emisor. Si se proporciona a la compuerta un el voltaje necesario y consumiendo una corriente casi despreciable permite el paso de la corriente entre colector y emisor, lo que permitiría activar el actuador al que estuviera conectado. El modelo usado para el prototipo ha sido el TIP132 [31].

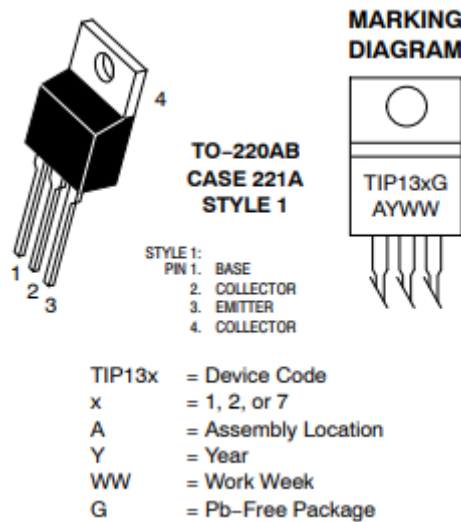


Ilustración 26: Etapa de potencia “Transistor TIP132¹³”

5.2 Sensores de nivel de agua

Con el fin de reducir el costo del prototipo, y debido al tamaño de ésta, se ha decidido emplear otros elementos sustitutivos de los que se disponía. Así pues, se han diseñado e implementado alternativas para los sensores de nivel, de modo que fueran eficaces para detectar los niveles de agua do lo que sería el acuífero del prototipo, así como de los niveles de agua del tanque.

¹² <http://www.vishay.com/docs/81181/4n35.pdf>

¹³ <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/TIP131-D.PDF>

- Sensor de nivel del acuífero: usando dos trozos de varilla roscada, se consiguió detectar cuando había o no agua en el acuífero, para saber si hay escasez de agua en el acuífero lo que detendría el uso de la bomba de agua para protegerla y evitar que se quemara al trabajar con aire y no agua. Para realizar esta detección una de las varillas se conectó a un voltaje de referencia y la otra a una de las entradas del microcontrolador, gracias a esto en el momento en que el agua toca ambas varillas el microcontrolador recibe una señal en la entrada y se sabe que se dispone de agua.



Ilustración 27: Sensor de nivel del acuífero

- Sensor de nivel del tanque: en este caso se adaptó la idea, pero usando 3 trozos de varilla roscada de distinta longitud, el más largo estará conectado al voltaje de referencia y los otros dos más cortos a dos entradas del microcontrolador, de modo que cuando el nivel del agua descienda de la varilla mediana, se detecta la falta de agua y activa la bomba, en caso de que el agua tocara la varilla más corta haría que la bomba se detuviera en el momento.



Ilustración 28: Sensor de nivel del tanque

En el caso de un uso comercial se optaría por unos sensores todo o nada con bolla como el mostrado en la Ilustración 29, dado que son sensores eficaces y baratos.



Ilustración 29: Sensor comercial¹⁴

¹⁴ <https://www.amazon.es/Facturado-L%C3%ADquido-Interruptor-Flotador-Horizontal/dp/B01IP1HEWM>

5.3 Sensor de flujo

El sensor encargado del control de errores en las electroválvulas será un YF-S201 [32]. Este sensor de flujo (ver Ilustración 30) genera un tren de pulsos con el paso de líquidos a través de su interior. Gracias a este tren de pulsos se puede saber si la electroválvula actúa según lo esperado o no. Características:

- Voltaje de operación: 3.3V - 18V DC
- Consumo de corriente: 15mA (5V)
- Capacidad de carga: 10mA (5 VDC)
- Salida: Onda cuadrada pulsante
- Rango de Flujo: 1-30L/min
- Rosca externa: 1/2" NPS
- Presión de trabajo máx.: 1.75MPa (17 bar)
- Temperatura de funcionamiento: -25°C a 80°C

Debido a sus características y a su diámetro se ha decidido usar este sensor para el control de errores en las electroválvulas.



Ilustración 30: Sensor de flujo “YF-S201¹⁵”

¹⁵ <https://www.amazon.es/yf-s201-Contador-Control-interruptor-Caudal%C3%ADmetro/dp/B073VJPQ9W/>

5.4 Electroválvula

La electroválvula [33] será el actuador que permita el paso o no del agua para el riego del sector que le corresponda.

Características:

- Material: Metal + plástico
- Voltaje: cc 6 V
- Entrada y salida: 5,5mm (diámetro exterior)
- Presión: 0-0.6Mpa
- Modo de funcionamiento: normalmente cerrado
- Temperatura de funcionamiento: 0°C-55°C
- Uso: agua y aire

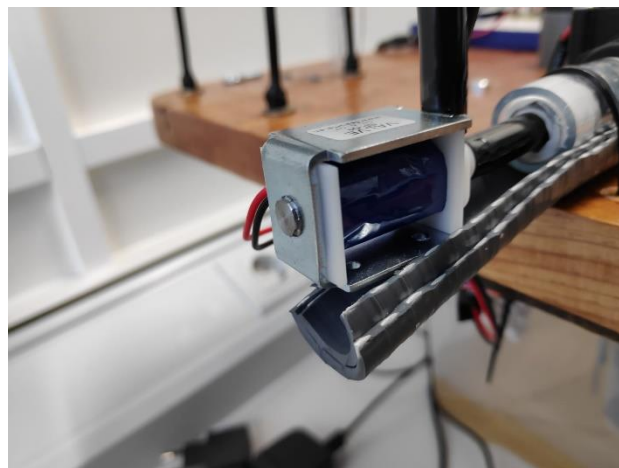


Ilustración 31: Actuador "Electroválvula"

5.5 Bomba de agua

La bomba de agua [34] será la encargada de proporcionar suministro al tanque. Este actuador se activará dependiendo de los sensores de nivel del prototipo.

Características:

- Bomba de material: ABS.
- Rango de resistencia de temperatura: 0 ~ 60 °C.
- Estado de uso: Continuo.
- Consumo de energía: 4,2 W.
- Voltaje nominal: 12 V CC.

- Flujo máximo: 240L/H.



Ilustración 32: Actuador "Bomba"

5.6 Cuerpo del prototipo

Para el cuerpo del prototipo se ha optado por dos recipientes de plástico transparentes de distinto tamaño, de modo que uno de ellos quede totalmente encajado dentro del otro. El recipiente interior consta de agujeros en la parte inferior que, gracias a un material poroso, permite el filtrado del agua evitando que la tierra se filtre al acueducto, evitando asimismo que la bomba se pudiera atorar con materiales sólidos.

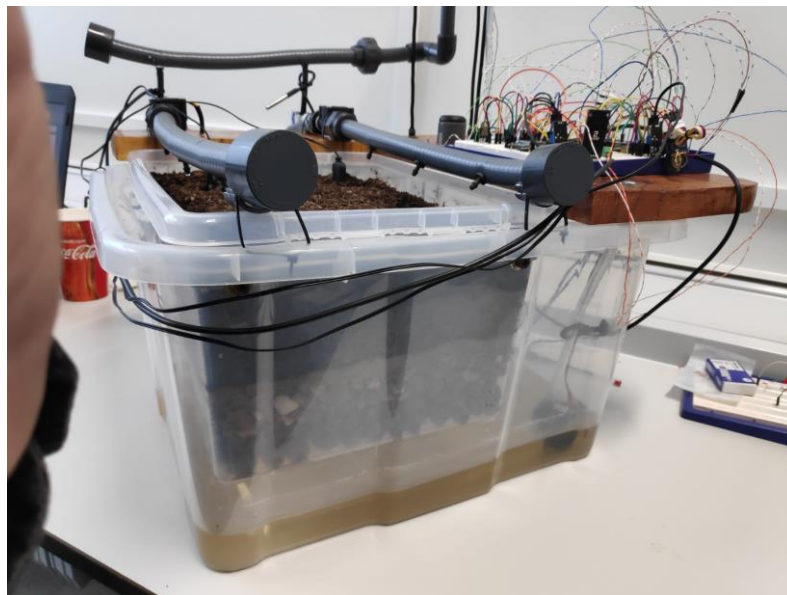


Ilustración 33: Cuerpo del prototipo

5.7 Soporte de los elementos

Como soporte, se ha usado una tabla de madera cortada a medida para poder colocar la placa de prototipos de circuitos (o *proto-board*) junto con los sensores y la sujeción para el tanque de agua. En la placa de prototipos de circuitos tendremos los dos microcontroladores y la etapa de potencia.



Ilustración 34: Soporte de los elementos

5.8 Pruebas

Tras la finalización del prototipo se realizaron un considerable número de pruebas para comprobar el funcionamiento del sistema. A lo largo de dichas pruebas se comprobaron los retardos y los posibles fallos del sistema. Pruebas realizadas:

Pruebas sobre las electroválvulas:

- **Objetivo:** Comprobar el correcto funcionamiento de las electroválvulas en función de los riegos programados.
- **Prueba:** Realización de 5 riegos de los 4 tipos sobre cada sector de riego.
- **Resultado:** 100% éxito, con un retardo del inicio de los riegos de entre 1 y 30 segundos.

Prueba sobre la bomba de agua:

- **Objetivo:** Comprobar el correcto funcionamiento de la bomba de agua.

- **Prueba:** Realización de 5 riegos de 3 minutos para comprobar como actúa la bomba de agua.
- **Resultado:** 100% éxito, la bomba actúa correctamente, una vez falta agua tiene un retardo máximo de 10 segundos en comenzar a llenar el tanque.

Pruebas sobre los riegos:

- **Objetivo:** Comprobar el correcto funcionamiento de todos los componentes en los distintos riegos programados.
- **Prueba:** Se realizaron varios riegos de cada tipo, todos ellos se realizaron con éxito.
- **Resultado:** Se detectó que a causa del diámetro de las electroválvulas los sensores de flujo no siempre detectaban el paso del agua. Este caso dependía de la cantidad de agua almacenada en el tanque. El resto de componentes actuaban según lo esperado.

Pruebas sobre la aplicación web:

- **Objetivo:** Comprobar el funcionamiento de la aplicación web.
- **Prueba:** Ejecución de todas las funciones que ofrece la aplicación web.
- **Resultado:** Todas las funciones ejecutaron su función sin problema.

5.9 Conclusión

Como resultado se ha obtenido este prototipo que abala el correcto funcionamiento del sistema creado, con el que se han podido realizar pruebas y mejorar el sistema dentro de las posibilidades.

6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Durante el desarrollo del prototipo se encontraron ciertas dificultades. Se empezó trabajando con los ESP8266, pero mientras se desarrollaba se detectaron varios contratiempos:

- Se comenzó utilizando la librería *MySQLConnector* [35], librería que no permitía hacer las peticiones a la base de datos de forma segura (no permitía el uso de SSL/TLS), razón por la que fue descartada.
- Después, se decidió usar la librería *WiFiClientSecure.h* [36] que permite hacer peticiones GET y POST a un servidor. Gracias a esto y a un archivo con las funciones previamente declaradas para las peticiones a la base de datos, se podía comunicar el microcontrolador con el servidor. Sin embargo, la librería estaba desactualizada por lo que trabajaba con el *fingerprint* en lugar de un certificado SSL completo, lo que hace ya tiempo se dejó de utilizar al ser menos seguro.
- Además, tras arreglar los contratiempos anteriores y hacer el mapeado de las conexiones del microcontrolador de forma completa (ya con todos los sensores), se vio que no se disponía del número de pines necesarios para todas las conexiones.

Después de estos sucesos se optó por cambiar a la plataforma ESP32 dado que proporciona más pines para conexiones y porque, además, varios de dichos pines tienen la función de ser usados como analógicos o digitales lo que daba más flexibilidad. Durante el desarrollo con este microcontrolador surgieron las siguientes dificultades:

- Tras el cambio al ESP32 al usar la librería *WiFiClientSecure.h* e intentar continuar usando el *fingerprint* se vio que la librería no lo permitía porque era menos seguro que el uso de un certificado SSL. Entonces se continuó el desarrollo investigando sobre cómo generar los certificados y cómo usarlos en el ESP32.
- Después de conseguir hacer funcionar la librería anterior, se observó que el microcontrolador se reiniciaba a los pocos segundos de estar funcionando. Tras estudiar el código se vio que una conexión no se cerraba por lo que al

hacer el bucle varias veces llenaba la memoria del microcontrolador haciendo que fallara y se reiniciara.

- Al comenzar con las pruebas de los sensores, se intentó conectar el sensor de humedad en uno de los pines que podían actuar como analógicos dado que era necesario para una correcta medición de este. Después de varios intentos, el sensor no medía como se esperaba. Madurando el sistema se detectó que, si el microcontrolador usaba la conexión wifi, de forma interna parte de los pines que se podían usar como analógicos solo se funcionaban como digitales. No obstante, aunque se redujeron los posibles pines analógicos, fueron suficientes para el desarrollo del proyecto.
- Finalizando las conexiones entre el microcontrolador maestro y el de respaldo se detectó que, como los pines no tienen un modo de alta impedancia, ambos microcontroladores no funcionaban como debían ya que hacían interferencias el uno con el otro, por lo que se adaptó el conexionado usando unos switches analógicos modelo CD4066B.
- Realizando pruebas se vio que, por alguna razón, los ESP32 que se estaban usando tenían el mismo ID, lo que provocaba que no se pudieran dar de alta en la base de datos ya que esa era la clave primaria. Para subsanar este incidente se cambió el ID por la MAC (*Media Access Control*) del dispositivo como clave primaria que en este caso si era única para cada dispositivo.

7 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a raíz de este proyecto han sido un sistema de gestión de irrigación de bajo costo, eficaz y flexible, que mejora la utilización de los recursos disponibles tanto los hídricos como los energéticos debido a que permite cancelar riegos de forma automatizada, gracias a los sensores de humedad y temperatura que se han implantado en el sistema.

Además, el sistema cuenta con una escalabilidad prácticamente ilimitada gracias a que los nodos son independientes entre sí, solo supone una carga mayor para el servidor en cuanto a peticiones por lo que el límite sería la potencia del servidor.

Se ha de añadir que el sistema es robusto y seguro dado que en los nodos maestros se le ha implantado un sistema de respaldo, por si este en algún momento dejara de funcionar y además las conexiones se hacen usando HTTPS para cifrar toda la información.

Por ello podemos afirmar se ha cumplido el objetivo principal junto con su objetivo opcional, y además estos objetivos se han mejorado al añadir robustez y fiabilidad al sistema con los sistemas de respaldo diseñados y los protocolos de comunicación segura.

También se ha implementado una aplicación web para la gestión del sistema de irrigación para los usuarios y para la gestión de usuarios para los administradores. Con ello se ha cumplido el objetivo de “Portal de servicio” presente en la elaboración del TFG.

Gracias a todo lo expuesto anteriormente se ha desarrollado e implementado una solución que intenta avanzar un paso más allá para subsanar el problema del mercado en lo referente a la modernización de los sistemas de irrigación con un presupuesto contenido.

8 LÍNEAS FUTURAS

Durante la realización del TFG han surgido una serie de posibles mejoras sobre el sistema, que no entraban dentro de los objetivos, algunas de ellas se han llevado a cabo debido a que se han considerado importantes para obtener un sistema robusto y seguro, como ha sido el sistema de respaldo del nodo maestro, la realización de conexiones seguras usando HTTPS y el uso de sensores de flujo para comprobar el correcto funcionamiento de las electroválvulas. Otras opciones se han considerado de importancia para futuras mejoras del diseño y se citan a continuación:

- **Adaptación para el uso de energía solar fotovoltaica.** Dado que la mayoría de estos sistemas se pueden encontrar alejados de la red eléctrica sería interesante contar con un diseño electrónico que pueda funcionar en su totalidad con energía eléctrica continua proporcionada por SFA (Sistemas Fotovoltaicos Autónomos), con buses de alimentación de 12 V, 24 V o 48 V.
- **Reducción del retardo de acción de los microcontroladores.** Por consecuencia del retardo que tiene el microcontrolador al ejecutar un bucle completo del programa algunas funciones como son el llenado de la bomba podrían retrasarse hasta el punto de dejar sin agua el tanque y parar el riego por lo que con el fin de optimizar los tiempos de reacción de los microcontroladores se podría dividir esas tareas a otros microcontroladores, aunque esto encarecería el sistema.
- **Añadir la capacidad de detección de roturas en el sistema de riego.** Uno de los puntos que no se han tenido en cuenta para el sistema ha sido las posibles roturas en las tuberías de irrigación.
- **Añadir lector de tarjetas SD para almacenar datos sin el límite de la EEPROM.** Dado que la EEPROM tiene un límite de lecturas y escrituras sería una buena opción para alargar la vida útil de los dispositivos.
- **Adaptación para el uso de módulo de red móvil para arduino.** Ya que la distancia entre sectores puede ser muy grande, sería interesante el uso de este tipo de módulos ya que haría que los microcontroladores no dependieran de un router wifi para su funcionamiento.

9 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fao.org. (2020). [Online] Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf [Accedido el 21 Ene. 2020].
- [2] Awsassets.wwf.es. (2020). [Online] Disponible en: http://awsassets.wwf.es/downloads/modernizacion_regadios.pdf [Accedido el 21 Ene. 2020].
- [3] Boe.es. (2020). [Online] Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-17494-consolidado.pdf> [Accedido el 14 Ene. 2020].
- [4] VIÑAS, José María Sumpsi. Los retos de la agricultura para alimentar al mundo en 2050. *Tiempo de paz*, 2012, vol. 106, p. 37-48.
- [5] Brioagro. (2019). *AQUA. Riego inteligente - Brioagro*. [Online] Disponible en: <https://brioagro.es/aqua-riego-inteligente/> [Accedido el 12 Dec. 2019].
- [6] Ultratur. (2019). *Ultratur - Sistema de riego automático y fácil de controlar a través de una pantalla de LCD para un máximo de 10 plantas de interior con bomba de agua, ideal como sistema de riego en vacaciones - Ultratur Spain*. [Online] Ultratur Spain. Disponible en: <https://ultratur.net/es/producto/ultratur-200100001043-sistema-de-riego-automatico-para-plantas-para-vacaciones/> [Accedido el 12 Dec. 2019].
- [7] FIXKIT, (2019). [Online] Disponible en: https://www.amazon.es/Temporizador-Controlador-Inteligente-Electr%C3%B3nico-Irrigaci%C3%B3n/dp/B07C8HBM2S/ref=asc_df_B07C8HBM2S [Accedido el 12 Dec. 2019].
- [8] Aquacenter.es. (2019). [Online] Disponible en: http://aquacenter.es/pdf/catalogo_pdf_07.pdf [Accedido el 13 Dec. 2019].
- [9] Rainbird.es. (2019). *Rain Bird | LIDER MUNDIAL EN RIEGO AUTOMATICO*. [Online] Disponible en: <https://www.rainbird.es/> [Accedido el 16 Dec. 2019].
- [10] LAS MONEDAS DE JUDAS. (2019). *Sistema de riego hecho con Arduino y varios sensores de luz, temperatura y humedad que usa una minibomba de agua*. [Online]

Disponible en: <https://lasmonedasdejudas.wordpress.com/2017/01/31/sistema-de-riego-hecho-con-arduino-y-varios-sensores-de-luz-temperatura-y-humedad-que-usa-una-minibomba-de-agua/> [Accedido el 12 Dec. 2019].

[11] Openaccess.uoc.edu. (2019). [Online] Disponible en: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/88845/8/abustosITFM0119presentacion.pdf> [Accedido el 12 Dec. 2019].

[12] Bibing.us.es. (2019). [Online] Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12418/fichero/PFC-2418-DAMIGO.pdf> [Accedido el 2 Ene. 2020].

[12.5] Ecocosas. (2020). *Riego automático, simple y escalable con Raspberry Pi*. [Online] Disponible en: <https://ecocosas.com/agroecologia/riego-automatico-simple-escalable-raspberry-pi/?cn-reloaded=1> [Accedido el 8 Feb. 2020].

[12.6] Medium. (2020). Sistema de riego automatizado con Raspberry PI + Arduino—Parte 1. [Online] Disponible en: <https://medium.com/@dnavarromartinez/sistema-de-riego-automatizado-con-raspberry-pi-arduino-parte-1-1eaf851c6015> [Accedido el 8 Feb. 2020].

[13] GRIDLING, Gunther; WEISS, Bettina. Introduction to microcontrollers. Vienna University of Technology Institute of Computer Engineering Embedded Computing Systems Group, 2007.

[14] Arduino.cl. (2020). Arduino UNO | Arduino. [Online] Disponible en: <https://arduino.cl/arduino-uno/> [Accedido el 15 Ene. 2020].

[15] Arduino.cl. (2020). Arduino Mega 2560 | Arduino.cl. [Online] Disponible en: <https://arduino.cl/arduino-mega-2560/> [Accedido el 15 Ene. 2020].

[16] Esp8266.com. (2020). Everything ESP8266. [Online] Disponible en: <https://www.esp8266.com/> [Accedido el 15 Ene. 2020].

[17] Esp32.net. (2020). The Internet of Things with ESP32. [Online] Disponible en: <http://esp32.net/> [Accedido el 15 Ene. 2020].

[18] Cdn-shop.adafruit.com. (2020). [Online] Disponible en: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/DS18B20.pdf> [Accedido el 15 Ene. 2020].

[19] Es.aliexpress.com. (2020). Diymore CC 3,3 12 V Sensor de humedad del suelo probador módulo potenciómetro higrómetro de humedad Sensor de detección sonda para

Arduino - AliExpress. [Online] Disponible en:

<https://es.aliexpress.com/i/32960790847.html> [Accedido el 15 Ene. 2020].

[20] Apachefriends.org. (2020). *XAMPP Installers and Downloads for Apache Friends*.

[Online] Disponible en: <https://www.apachefriends.org/es/index.html> [Accedido el 14 Ene. 2020].

[21] Mysql.com. (2020). MySQL. [Online] Disponible en: <https://www.mysql.com/>

[Accedido el 15 Ene. 2020].

[22] Group, D. (2020). Welcome! - The Apache HTTP Server Project. [Online]

Httpd.apache.org. Disponible en: <https://httpd.apache.org/> [Accedido el 15 Ene. 2020].

[23] Mx.godaddy.com. (2020). ¿Qué es un Certificado SSL? | Certificados SSL - Ayuda de

GoDaddy MX. [Online] Disponible en: <https://mx.godaddy.com/help/que-es-un-certificado-ssl-542> [Accedido el 20 Ene. 2020].

[24] Mi mente vuela. (2020). Certificado SSL+TLS auto-firmado para XAMPP en

Windows. [Online] Disponible en:

<https://mimentevuela.wordpress.com/2016/02/20/certificado-ssl-tls-auto-firmado-para-xampp-en-windows/> [Accedido el 15 Ene. 2020].

[25] W3schools.com. (2020). HTML5 Introduction. [Online] Disponible en:

https://www.w3schools.com/html/html5_intro.asp [Accedido el 16 Ene. 2020].

[26] W3schools.com. (2020). CSS Tutorial. [Online] Disponible en:

<https://www.w3schools.com/css/> [Accedido el 16 Ene. 2020].

[27] Php.net. (2020). PHP: ¿Qué es PHP? - Manual. [Online] Disponible en:

<https://www.php.net/manual/es/intro-what-is.php> [Accedido el 16 Ene. 2020].

[28] Areatecnologia.com. (2020). Optoacoplador Fácil de Entender Ejemplos y Circuitos.

[Online] Disponible en: <https://www.areatecnologia.com/electronica/optoacoplador.html>

[Accedido el 17 Ene. 2020].

[29] 4N35 Datasheet. [Online] Disponible en:

<http://www.vishay.com/docs/81181/4n35.pdf> [Accedido el 8 Feb. 2020].

[30] Ingeniería Mecafenix. (2020). ¿Qué es un transistor y cómo funciona? - Ingeniería Mecafenix. [Online] Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/el-transistor/> [Accedido el 8 Feb. 2020].

[31] TIP132 Datasheet. [Online] Disponible en: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/TIP131-D.PDF> [Accedido el 8 Feb. 2020].

[32] Hobbytronics.co.uk. (2020). [Online] Disponible en: <https://www.hobbytronics.co.uk/datasheets/sensors/YF-S201.pdf> [Accedido el 15 Ene. 2020].

[33] aliexpress.com. (2020). Válvula de solenoide eléctrica cc 12V interruptor de flujo de entrada de aire de agua N/C magnético 1/2. [Online] Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/32879434460.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.186063c0073M4T> [Accedido el 20 Ene. 2020].

[34] aliexpress.com. (2020). Mini bomba de agua Ultra silenciosa 12V 4,5 W. [Online] Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/33026854152.html?spm=a2g0o.store_home.productList_830878573.subject_1 [Accedido el 20 Ene. 2020].

[35] GitHub. (2020). ChuckBell/MySQL_Connector_Arduino. [Online] Disponible en: http://github.com/ChuckBell/MySQL_Connector_Arduino [Accedido el 20 Ene. 2020].

[36] GitHub. (2020). espressif/arduino-esp32. [Online] Disponible en: <https://github.com/espressif/arduino-esp32/tree/master/libraries/WiFiClientSecure> [Accedido el 20 Ene. 2020].

10 PRESUPUESTO

En este apartado y teniendo en cuenta los apartados anteriores se van a redactar los distintos presupuestos surgidos a raíz de los distintos objetivos que se han realizado.

10.1 Tiempo de desarrollo

En el siguiente presupuesto se desglosan en distintos apartados las horas de trabajo que ha presentado este trabajo de final de grado, adaptándose al tiempo estipulado en la Titulación.

Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Estudio de normativa	40,00€	24 horas	960,00 €
Estudio de los microcontroladores	40,00€	16 horas	640,00 €
Estudio de los sensores	40,00€	16 horas	640,00 €
Diseño hardware de los nodos maestros	40,00€	24 horas	960,00 €
Diseño hardware de los nodos esclavos	40,00€	16 horas	640,00 €
Diseño Software	40,00€	84 horas	3360,00 €
Construcción y pruebas del prototipo	40,00€	24 horas	960,00 €
Estudio previo servidor	40,00€	24 horas	960,00 €
Diseño del servidor	40,00€	24 horas	960,00 €
Estudio previo de aplicaciones WEB	40,00€	16 horas	640,00 €
Diseño aplicación WEB	40,00€	32 horas	1280,00 €
TOTAL		300	13.280,00 €

10.2 Nodos Maestros

En este presupuesto se desglosan los componentes necesarios para el nodo maestro que además sería la inversión inicial necesaria para el funcionamiento del proyecto. Otro caso es el uso de un router 3G para la conexión a internet de los dispositivos.

Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Microcontrolador ESP32	3,08€	2	6,16€
Sensor de humedad HD-38	1,90€	1	1,90€
Sensor de flujo YF-S201	1,34€	1	1,34€
Sensor de temperatura DS18B20	0,63€	1	0,63€
Cargador 5V	3,95€	2	7,90€
Cable microusb	3,95€	2	7,90€
Protoboard	7,90€	1	7,90€
Total			33,73€

10.3 Nodos Esclavos

En este presupuesto se desglosa los componentes necesarios para cada nodo esclavo, esta inversión se deberá de realizar cada vez que se quiera incrementar el número de sectores de irrigación.

Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Microcontrolador ESP32	3,08€	1	3,08€
Sensor de humedad HD-38	1,90€	2	3,80€
Sensor de flujo YF-S201	1,34€	2	2,68€

Sensor de temperatura DS18B20	0,63€	2	1,26€
Cargador 5V	3,95€	1	3,95€
Cable microusb	3,95€	1	3,95€
Protoboard	7,90€	1	7,90€
Total			26,62€

10.4 Prototipo

En el siguiente presupuesto se desglosa todos los componentes que han sido necesarios para el desarrollo del prototipo.

Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Recipiente grande	10,00€	1	10,00 €
Recipiente pequeño	6,00€	1	6,00€
Recipiente para el agua	5,00€	1	5,00€
Estructura para el tanque de agua	3,00€	1	3,00€
Microcontrolador ESP32	3,08€	2	6,16€
Sensor de humedad HD-38	1,90€	2	3,80€
Sensor de flujo YF-S201	1,34€	2	2,68€
Sensor de temperatura DS18B20	0,63€	2	1,26€
Electroválvula	1,30€	2	2,60€
Mini bomba de agua	7,00€	1	7,00€
Tubos y cableado	2,00€	X	2,00€
Cargador 5V	3,95€	2	7,90€
Cable microusb	3,95€	2	7,90€

Protoboard	7,90€	1	7,90€
			Total 73,20€

10.5 Total del presupuesto

En el presupuesto cabe destacar que los nodos esclavos son alternativos, con el nodo maestro se puede gestionar 1 sector. Si se requieren más, entonces pasaran a ser necesarios los nodos esclavos. Cada 2 sectores nuevos hará falta 1 esclavo.

Descripción		Precio Total
Tiempo de desarrollo		13.280,00 €
Nodo maestro		33,73€
Nodo esclavo		26,62€
Prototipo		73,20€
	Subtotal	13.413,55€
	IVA	21%
	TOTAL	16.230,39€

El presupuesto total del presente Trabajo Fin de Grado asciende a la cantidad de dieciséis mil doscientos treinta euros con treinta y nueve céntimos (16.230,39 €).

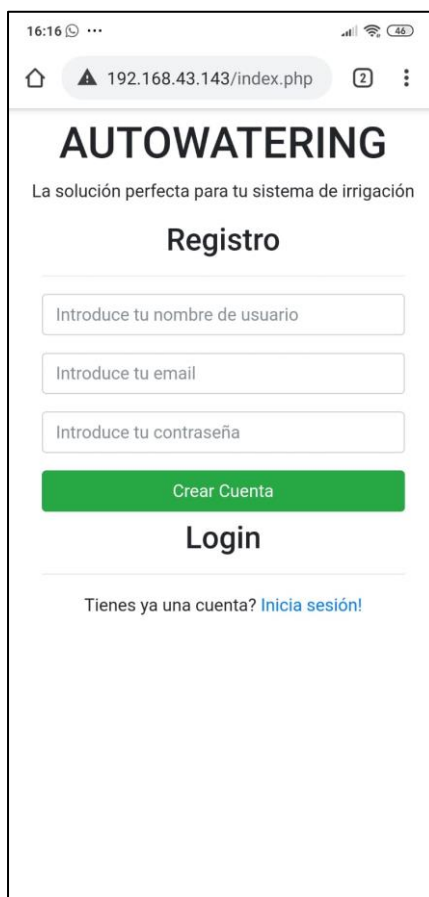
11 ANEXOS

11.1 ANEXO 1 Manual de usuario

En el presente manual de usuario se describen las funciones de manejo de la aplicación web, para facilitar el uso de la misma al usuario final y aclarar las dudas más comunes que pudieran surgir.

11.1.1 ¿Cómo crear una cuenta?

Para crear una cuenta, solo ha de introducir un nombre de usuario, su correo electrónico y una contraseña de más de 6 caracteres y después pulsar sobre el botón “Crear Cuenta”



16:16 ... 192.168.43.143/index.php

AUTOWATERING

La solución perfecta para tu sistema de irrigación

Registro

Introduce tu nombre de usuario

Introduce tu email

Introduce tu contraseña

Crear Cuenta

Login

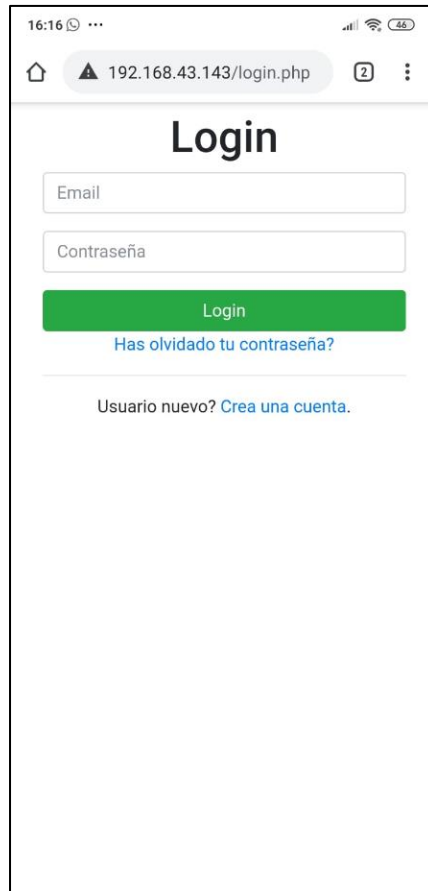
Tienes ya una cuenta? [Inicia sesión!](#)

Ilustración 35: Manual "Registro"

11.1.2 ¿Cómo iniciar sesión?

Para iniciar sesión en la aplicación solamente ha de introducir su correo electrónico y la contraseña con las que se registró. En el caso de haber olvidado la contraseña, siempre

puede pulsar sobre “¿Has olvidado tu contraseña?” e introduciendo su correo electrónico se le enviara a este mismo su contraseña actual.



16:16 192.168.43.143/login.php

Login

[Has olvidado tu contraseña?](#)

Usuario nuevo? [Crea una cuenta.](#)

Ilustración 36Manual "Login"

11.1.3 ¿Cómo añadir un riego programado?

Una vez haya iniciado sesión le saldrá el panel mostrado en la figura de abajo, para añadir un riego programado solo ha de seleccionar el tipo de riego que desea añadir y rellenar los campos que se le mostraran. Entre los riegos programados disponibles están:

- **Inmediato:** este riego se realizará en el mismo momento en que lo añada y solo deberá de seleccionar el sector al que va dirigido y la duración en minutos de este riego.
- **Diario:** este riego se realizará todos los días y para añadirlo solo ha deseleccionar el sector al que va dirigido, añadir la hora a la que quiere que comience y la duración en minutos del riego programado.
- **Por humedad y temperatura:** este riego se realizará siempre que la temperatura y la humedad del sector seleccionado se encuentren por debajo de unos límites, para añadirlo solo ha de seleccionar el sector al que va dirigido, añadir la temperatura máxima en °C, añadir la humedad máxima en porcentaje entre 0 y 100 y finalmente seleccionar la duración del riego programado una vez se cumplan esos factores.

- **Por fecha:** este riego se realizará una vez en la fecha y hora seleccionadas, para ello solo ha de seleccionar el sector al que va dirigido, introducir la fecha, la hora y la duración de dicho riego.

13:13 192.168.43.143/user.php/ 2

Bienvenido AndresNV

[Editar perfil](#) [Desconectar](#)

Añadir riego

Tipo de regado:
Instantaneo

Sector: 1

Duracion(minutos):
0

[Añadir](#)

Tabla de regados

En esta tabla puede seleccionar y borrar el riegos programados

	Tipo	Sector	Datos
☐	T/H	1	Duracion=15min Temperatura=25°C Humedad=80% Ultimo uso=Nunca

[Borrar](#)

Ilustración 37:Manual "Añadir riego"

11.1.4 ¿Cómo borrar un riego programado?

Para borrar un riego programado solo ha de seleccionar el/los riego/s programado/s y pulsar el botón “Borrar”.

13:13 192.168.43.143/user.php/ 2

Bienvenido AndresNV

[Editar perfil](#) [Desconectar](#)

Añadir riego

Tipo de regado:
Instantaneo

Sector: 1

Duracion(minutos):
0

[Añadir](#)

Tabla de regados

En esta tabla puede seleccionar y borrar el riegos programados

Tipo	Sector	Datos
☐	T/H 1	Duracion=15min Temperatura=25°C Humedad=80% Ultimo uso=Nunca

[Borrar](#)

Ilustración 38:Manual "Borrar Riego"

11.1.5 ¿Cómo puedo editar mi perfil?

Para editar su perfil solo ha de pulsar en su panel de usuario sobre “Editar perfil” en la parte superior izquierda. Esto le llevara a una página en la que podrá modificar su nombre de usuario, su correo electrónico, su contraseña y su “Humedad máxima”, este valor es la humedad máxima en porcentaje entre 0 y 100 que usted puede seleccionar para que no se ejecute ningún riego programado siempre la que la humedad se encuentre por encima de ese valor, esto puede darse cuando llueva y el suelo ya este mojado y el riego programado no sea necesario para su cultivo lo que le ayudara a ahorrar agua y electricidad.

16:17 192.168.43.143/edit-profile. 2

Bienvenido: AndresNV

Edita tu perfil

Nombre de usuario:

Email:

Contraseña:

Humedad maxima:

[Modificar](#)

[volver a la pagina de usuario](#)

Ilustración 39:Manual "Editar perfil"