

Colegio
Virgen del
Remedio
Madrid

COLEGIO VIRGEN DEL REMEDIO
PROYECTO TECNOLOGÍA

Automatización del cuidado de una planta

Autores

Samuel Matamoros, Alejandro Clérigo y Manuel Gómez

15/04/2024

Resumen

En primer lugar, este proyecto tiene un objetivo claro, que es, el ahorro de tiempo en la vida de una persona sin descuidar a las plantas, ya que son seres vivos como nosotros. Además, queremos fomentar el desarrollo de la jardinería con la implementación de nuevas metodologías, debido a que es un sector que está perdiendo paulatinamente relevancia en la sociedad.

En cuanto a la metodología, fabricaremos una maceta inteligente que mediante una serie de sensores y elementos de programación será capaz de aportar de manera automática a la planta lo que necesita para llevar una vida óptima, esta tendrá una pantalla inteligente en el que el propietario podrá ver toda la información de su planta en todo momento y reguladores para poder medir las cantidades.

Abstract

Firstly, this project has a clear objective, which is to save time in a person's life without neglecting the plants, as they are living beings like us. Additionally, we aim to promote the development of gardening through the implementation of new methodologies, as this is a sector that is gradually losing relevance in society.

As for the methodology, we will manufacture a smart pot that, through a series of sensors and programming elements, will be able to automatically provide the plant with what it needs to lead an optimal life. It will have a smart screen on which the owner can view all the information about their plant at any time, as well as regulators to measure the quantities.

Índice de contenidos

Capítulo 1. Motivación.....	1
Capítulo 2. Introducción.....	2
2.1. - Planteamiento.....	2
2.2. - Objetivos.....	3
2.3. - Estructura.....	3
2.3.1. - 1º Fase.....	4
2.3.2. - 2º Fase.....	4
2.3.3. - 3º Fase.....	4
2.3.4. - 4º Fase.....	5
Capítulo 3. Memoria.....	6
3.1. - Estado del arte.....	6
3.2. - Materiales y métodos.....	6
3.2.1. - Diseño.....	7
3.2.2. - Materiales.....	8
3.2.2.1. - <i>Materiales del revestimiento.....</i>	<i>8</i>
3.2.2.2. - <i>Selección de componentes electrónicos.....</i>	<i>8</i>
3.2.3. - Presupuesto.....	9
3.2.4. - Métodos.....	10
3.2.4.1. - <i>Diseño del estudio.....</i>	<i>11</i>
3.2.4.2. - <i>Población y muestra.....</i>	<i>11</i>
3.2.4.3. - <i>Recopilación de datos.....</i>	<i>11</i>
3.2.4.4. - <i>Análisis de datos.....</i>	<i>11</i>
3.2.4.5. - <i>Limitaciones.....</i>	<i>11</i>
3.3. - Desarrollo.....	12
3.3.1. - Código.....	12
3.3.2. - Construcción de la maceta.....	16
3.4. - Resultados.....	17
Capítulo 4. Conclusiones y futuras líneas de trabajo.....	18
4.1. - Optimización de la maqueta.....	18
4.2. - Optimización del código.....	19
4.3. - Registro y procesado atemporal de los datos.....	19
4.4. - Inclusión de nuevos sensores.....	19
4.5. - Adición de funcionalidades extra.....	20
Capítulo 5. Bibliografía.....	21
Capítulo 6. Anexos.....	22
6.1. - Diagrama de Gannt / Organigrama.....	23
6.2. - Esquema electrónico.....	24
6.3. - Planos.....	25

Índice de tablas

Tabla 1: Componentes y precios.....	8
-------------------------------------	---

Índice de figuras

Figura 1: Renderizado en 3D del modelo de diseño preliminar.....	7
Figura 2: Ecuación payback.....	10

Capítulo 1. Motivación

El progreso masivo de la tecnología en estos tiempos representa una gran oportunidad para poner soluciones a problemas cotidianos. La automatización de tareas cotidianas supone un gran alivio a la mente humana de la actualidad sobre estimulada por la exposición desmesurada y constante a nueva información.

Por otro lado, El color de las plantas, su olor, el frescor y esa sensación de estar rodeado de naturaleza junto con el placer que producen en las personas son motivos suficientes para tener una planta. Para la gente que disfrutamos de las flores es muy gratificante el hecho de ver tus plantas crecer sanas y fuertes, pero muchas veces por descuidos no siempre reciben el mejor trato posible.

Del interés en la tecnología fusionado con la pasión por las plantas y las flores surge este proyecto, *Automatización del cuidado de una planta*.

Capítulo 2. Introducción

2.1. - Planteamiento

Las plantas son seres vivos al igual que los humanos y los animales, con sus diferencias como es obvio. Estas, necesitan de nuestro cuidado para poder seguir de manera correcta su ciclo vital.

En los últimos años el interés por la jardinería y el cuidado de las plantas se ha visto aumentado significativamente. Sin embargo, en muchas ocasiones, al estar ocupados en otras actividades, preocupaciones o problemas y debido a la falta de conocimientos acerca del tema encontramos dificultades para mantener nuestras plantas de manera saludable. Es evidente, que esto es un problema ya que las plantas tienen numerosos beneficios domésticos como: purificación del aire, numerosas utilidades en otros ámbitos o absorción de la humedad entre otros. Por otra parte, poseen beneficios respecto al medioambiente.

Si existen dudas sobre los motivos para tener y conservar plantas en el hogar, traemos algunos de ellos como son: las plantas absorben los malos olores que hay en nuestro hogar, además de purificar el aire que respiramos, por otra parte cabe destacar que son decorativas y aportan un toque más estético a la habitación en la que se encuentren colocadas, ayudan y enseñan a los más pequeños sobre la naturaleza y la importancia de cuidar el medioambiente y por último está demostrado que tener plantas cerca favorece la concentración a la hora de estudiar y trabajar, esto se ve por ejemplo como todas las empresas tienen numerosas plantas en sus oficinas.

Cabe la posibilidad de que existan personas que pienses que esto es inútil, pero sinceramente si te paras a pensarlo hay personas que quieren tener plantas en su hogar pero no disponen del tiempo para proporcionarles una buena calidad de vida y ¿Las plantas realmente merecen eso?

Nuestra idea es perfecta para eso, para poder ganar tiempo sin descuidar las necesidades vitales de la planta porque al fin y al cabo son considerados seres vivos como nosotros y creo que a ninguno de nosotros nos gustaría no poder comer, no poder hidratarnos o descansar, que son las acciones básicas que necesitamos para poder vivir.

Es posible, que también existan personas que no tengan conocimientos básicos sobre jardinería o lo que es lo más básico como el simple cuidado de una planta, pero puede pasar que no sepan que recursos necesitan para realizar esta actividad, que características externas o que rutinas de cuidado deben seguir para poder tener la salud de su planta de manera óptima. En este caso nuestro proyecto también servirá de gran ayuda para este tipo de persona que además de poder tener plantas cuidadas y bonitas, también aprenderán lo básico acerca del cuidado de estas.

En conclusión, la automatización del cuidado de las plantas representa una solución innovadora, prometedora y eficaz para aquellos que deseen disfrutar de los beneficios y la belleza de las plantas sin dedicar demasiado tiempo y esfuerzo a su cuidado. Además, nuestro trabajo busca contribuir en la medida de lo posible al avance de la tecnología en el campo de la jardinería y botánica que no se encuentran muy desarrollados tecnológicamente y son profesiones que cada vez ejerce menos gente ya que se relacionan con trabajos tradicionales y antiguos y por eso nuestro proyecto puede estimular la demanda de este y a la vez aportar facilidades a los que lo ejercen.

2.2. - Objetivos

El objetivo principal de nuestro proyecto no es obtener un beneficio económico, sino ganar tiempo para realizar otras actividades y así quitarnos preocupaciones a la hora de mantener en buen estado las plantas de nuestro hogar. MA-Z permite despreocuparte del cuidado de las plantas de tu hogar para que estas estén sanas y en condiciones óptimas y muy vistosas para decorar tu casa.

Por otro lado se pretende con este estudio investigar en la automatización como concepto y el desarrollo de sistemas de recopilación y análisis de datos. El objetivo principal de nuestro proyecto no es obtener un beneficio económico, aunque podría convertirse en un potencial producto si se deseara.

2.3. - Estructura

El proyecto se divide en una serie de fases interconectadas y secuenciales, caracterizadas por un conjunto único de actividades, entregables y objetivos que contribuyen al avance progresivo del proyecto.

La estructura en fases proporciona una hoja de ruta clara para el desarrollo del proyecto, permitiendo una gestión eficiente de recursos, tiempo y esfuerzos. Además, facilita la identificación de hitos importantes y la evaluación del progreso del proyecto en cada etapa.

A lo largo de esta sección, se describirán en detalle las distintas fases del proyecto, incluyendo sus objetivos específicos, actividades clave, entregables esperados y cronograma propuesto. Además, se discutirán las interrelaciones entre las fases y cómo contribuyen al logro de los objetivos generales del proyecto.

2.3.1. - 1º Fase

En esta primera etapa nuestro objetivo es realizar una lluvia de ideas donde, entre los miembros del grupo, discutamos y propongamos diferentes conceptos hasta llegar a una conclusión, para más tarde, identificar el problema y, una vez hecho esto, redactarlo en un documento organizadamente. Además, se realizará una breve presentación para exponer nuestro proyecto.

Para visualizar y estructurar mejor el tiempo que dedicaremos a cada fase y tarea, haremos un diagrama de Gantt en el que vamos a situar cada período en una línea de tiempo. Como se observa en el anexo 6.1.

2.3.2. - 2º Fase

A continuación, comenzaremos a escribir en el documento con mayor profundidad, estableciendo los cimientos del proceso. Simultáneamente, nos conviene empezar a desarrollar los cálculos, que se encargarán de aplicar las funciones correspondientes a los dispositivos que se pongan en práctica. Asimismo, implantaremos nuestros objetivos.

2.3.3. - 3º Fase

En tercer lugar, daremos paso a la parte dedicada al diseño, en la cual realizaremos diferentes dibujos y prototipos conceptuales hasta llegar a un modelo definitivo que se adapte de la mejor manera posible a la efectividad y estética que buscamos, algo llamativo y atractivo. Seguidamente, dando por finalizado y por decidido el boceto que confeccionaremos, llega la hora de construirlo, partiendo desde cero y basándonos en los planos establecidos anteriormente. Por otro lado, el diseño posee

otra dimensión, ligada a la confección del sistema de automatización junto con el esquema electrónico.

Tras realizar el diseño, tanto exterior como electrónico, se procederá a la etapa de prototipos, comprobando el correcto funcionamiento de todo el sistema antes de proceder al paso final en el proceso de la construcción de la maqueta, la construcción y ensamblaje de la maqueta.

2.3.4. - 4º Fase

Finalmente, el último paso consta de la defensa del proyecto, en la que expondremos todo el proceso ante un público y un jurado, en este caso, el profesor. No obstante, la ejecutaremos mediante una presentación, la cual la elaboraremos de una forma vistosa para captar la atención de los espectadores.

En resumen, esta sección proporciona una visión general de la estructura del proyecto en distintas fases que faciliten la el trabajo destacando su importancia para la gestión efectiva y el avance progresivo del proyecto hacia la consecución de sus objetivos.

Capítulo 3. Memoria

3.1. - Estado del arte

Este estudio se enmarca en el contexto de la automatización del cuidado de plantas, un campo emergente que busca integrar tecnología y biología para mejorar la salud y el crecimiento de las plantas en entornos controlados. A continuación, presentamos una revisión de la literatura existente acerca del tema.

Recientemente, en 2023, se publicó uno de los artículos que mejor ilustra la situación de la automatización de la agricultura es *Design and validation of an open-sourced automation system for vertical farming* (1) escrito y publicado en la revista *HardwareX* por la Universidad de Cambridge. En él, se desarrolla un sistema de automatización llamado *MACARONS2*, diseñado para ofrecer una solución inteligente, modular, escalable, personalizable y más importante, de licencia libre. El diseño aportado es de gran calidad y enfocado a un plano industrial para el crecimiento controlado en masa de plantas.

También, otro artículo relacionado con la agricultura vertical es *Vertical farming: The future of agriculture: A review*(2) que aporta información sobre cómo factores como el cambio climático y la sobrepoblación, entre otros, influyen en la agricultura de la actualidad y los problemas que plantea para el futuro. También se explora la idea de la agricultura vertical en entornos urbanos como solución al inminente problema de la escasez de alimentos.

Toda esta literatura anteriormente expuesta únicamente pone el foco de atención en la industrialización y la aplicación a gran escala de esta práctica. Con ello, nuestro proyecto pretende aportar una dimensión personal e individual a este formato de agricultura inteligente.

3.2. - Materiales y métodos

En esta sección abordaremos los diferentes materiales empleados para el desarrollo del proyecto junto con otros aspectos relacionados con los componentes como el presupuesto. También describiremos el proceso atravesado a la hora de elaborar las diferentes partes del trabajo.

3.2.1. - Diseño

El objetivo principal de este diseño es crear un entorno óptimo para el crecimiento y la salud de las plantas mediante el uso de tecnologías de automatización y sensores ambientales.

El diseño se fundamenta en la integración de sensores que permiten monitorear de manera precisa las condiciones ambientales en el entorno de cultivo de las plantas. Estos sensores están conectados a un sistema de control inteligente que ajusta automáticamente variables como el riego, la iluminación y la ventilación para satisfacer las necesidades específicas de cada planta.

Además, se consideran aspectos ergonómicos y estéticos en el diseño de la maceta inteligente, asegurando que sea funcional y atractiva tanto para los usuarios como para las plantas. Se exploran materiales duraderos y sostenibles para la construcción de la maceta, así como soluciones de diseño que faciliten el acceso y el mantenimiento de las plantas. El resultante diseño quedaría como indican las siguientes figuras.

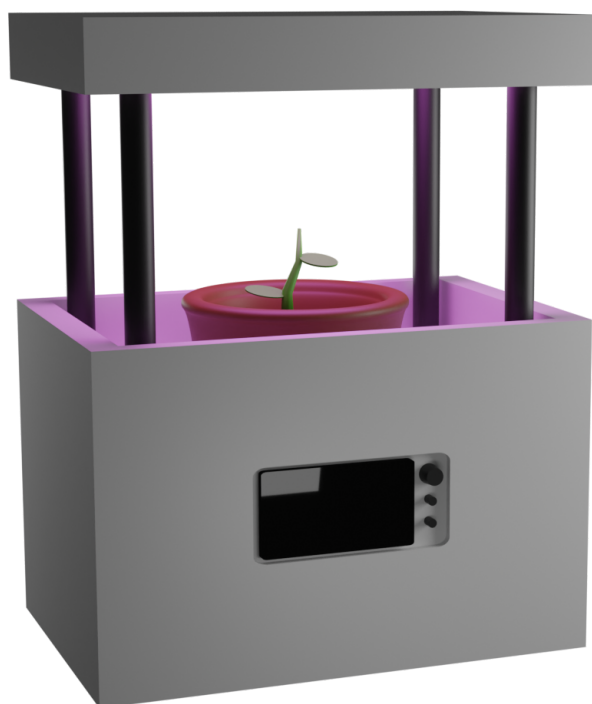


Figura 1: Renderizado en 3D del modelo de diseño preliminar

3.2.2. - Materiales

En esta sección, exploraremos los materiales necesarios para construir una maceta inteligente que proporcione un entorno óptimo para el crecimiento de las plantas, así como los componentes electrónicos que permitirán su automatización.

3.2.2.1. - Materiales del revestimiento

Para la construcción de la maceta, emplearemos materiales básicos con algún elemento decorativo para mejorar el aspecto visual de la maceta. Para la construcción del cuerpo principal emplearemos madera, pues es un material abundante y con un coste relativamente barato. Construiremos el depósito de agua, situado en la base del cuerpo de la maceta, con planchas de metacrilato. El elemento de transparencia sirve como referencia visual para el rellenado de la maceta así como para mejorar el aspecto exterior. Por último, con tubos de PVC fabricaremos los pilares que sustenten el techo y parte de la estructura.

3.2.2.2. - Selección de componentes electrónicos

Por otra parte, el proyecto requiere de una serie de componentes electrónicos para funcionar. El corazón de nuestro proyecto va a estar por un microcontrolador con el procesador *ESP32-WROOM-32*, un micro controlador de grandes capacidades con funcionalidades Wi-Fi y Bluetooth entre otras. Él se encargará de recibir y manejar los datos generados por los diferentes sensores empleados para monitorizar diferentes métricas. El primero de los sensores va a ser el *DTH22*, un sensor capaz de medir la temperatura y la humedad relativa con un $\pm 0,1\%$ de precisión en sus mediciones. También relacionado con la humedad tenemos el *sensor de humedad de suelo*, este nos proporcionará datos sobre el porcentaje de agua en la tierra, de gran utilidad para determinar si es necesario activar el sistema de riego automático. Para el sistema de riego emplearemos una bomba de agua de 5V genérica. También necesitaremos de un sensor luminoso o *foto resistor* para evaluar la cantidad de luz que recibe nuestra planta y en función de esos datos decidir si encender la luz de crecimiento o no. La luz de crecimiento cuenta con una matriz de LEDs (*Light Emiting Diodes*) que cubren en su totalidad el espectro de luz captada por las hojas. Para mostrar todos estos datos al usuario contaremos con una pantalla LCD (*Liquid Crystal Display*) y un codificador rotatorio (*rotary encoder*) o *knob*. Además, para controlar la cantidad de agua disponible para el sistema de riego contaremos con un sensor de ultrasonidos. La diferencia de voltajes en este

proyecto, 220V por parte de la luz y 5V necesarios para el microcontrolador; será manejado por una fuente de alimentación. La luz de crecimiento presenta un problema adicional, pues esta no puede ser alimentada con 5 voltios y un interruptor de 5V no sería capaz de moverla, por ello, utilizaremos un *Solid State Switch*, un dispositivo muy parecido a los relés pero de mayor fiabilidad y un mejor rendimiento.

Cada material desempeña un papel crucial en la funcionalidad y estética del proyecto. La integración de componentes electrónicos como sensores de humedad del suelo, sistemas de riego automatizados y microcontroladores para la gestión del ciclo de luz garantiza un cuidado óptimo y personalizado para cada planta.

3.2.3. - Presupuesto

Debemos tener en cuenta los materiales que necesitamos adquirir para la creación de la maqueta, que pueden ir desde un bloque de madera a sensores o distintos tipos de elementos de programación. Para ello hemos realizado una tabla en la que aparece representado todo esto.

Nombre	Tipo	Precio
Solid State Switch / Relé	Alimentación	2,47 €
fuentes de alimentación 5V	Alimentación	5,43 €
ESP32	controlador	3,69 €
Puerto USB	Sensores	1,50 €
Zumbador	Sensores	0,23 €
Rotary encoder	Sensores	5,01 €
Botones / Botones capacitivos	Sensores	0,99 €
Pantalla	Sensores	6,25 €
Bomba de agua	Sensores	5,10 €
Luz de crecimiento	Sensores	3,99 €
Luminoso	Sensores	1,00 €
Cantidad de agua / ultrasonidos	Sensores	3,50 €
Humedad suelo	Sensores	0,97 €
Temperatura y Humedad	Sensores	1,67 €
Tubos de PVC	Estructura	0,25 €
Tornillos	Estructura	5,00 €
Madera	Estructura	10,00 €
Total		57,05 €

Tabla 1: Componentes y precios

Nuestra intención era crear la maqueta con productos que no causasen efectos nocivos en el medioambiente, ya que estamos concienciados con la sostenibilidad de nuestro planeta. Además tampoco queríamos gastar mucho dinero, debido a que no disponemos de una capacidad económica alta, por ello fijamos un presupuesto máximo de 50 euros y finalmente sumando todos los componentes, salió un coste final de 40,99 euros, nos distribuimos este en tres partes iguales para pagar todos lo mismo, es decir 13,7 euros aproximadamente cada uno, aunque en la tabla aparece un coste superior, eso se debe a que ya disponíamos previamente de algunos productos pero aun así hemos decidido incluirlos en la tabla para que se vea reflejado cual sería el coste total.

Como todos los inventos nosotros esperamos obtener una rentabilidad de este trabajo, en este caso más que una rentabilidad económica lo que esperamos es ganar tiempo para otras actividades (ocio, otras labores o descanso) gracias al no emplear nuestro tiempo en el cuidado de las planta.

Para prevenir los futuros beneficios que nos puede traer este proyecto deberíamos utilizar la fórmula de payback, pero como no tenemos intención de obtener beneficios económicos no podemos calcularlo, ya que la fórmula de payback es así.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Flujos de caja}}$$

Figura 2: Ecuación payback

3.2.4. - Métodos

La recopilación y análisis de datos juegan un papel fundamental en la metodología, permitiendo una evaluación continua del entorno y la eficacia de las intervenciones automatizadas. Esta sección proporciona una visión general del enfoque metodológico utilizado para desarrollar y evaluar nuestro sistema de automatización del cuidado de plantas.

3.2.4.1. - Diseño del estudio

Este proyecto emplea un enfoque experimental para la automatización del cuidado de plantas utilizando una serie de sensores para monitorear variables ambientales clave. El diseño del estudio incluye la instalación de sensores de humedad y temperatura, sensores de humedad del suelo y sensores de luz en una maceta inteligente.

3.2.4.2. - Población y muestra

Para la recopilación de estos datos emplearemos una planta. Para la realización de este trabajo valdría con cualquier tipo de planta, ya que sus necesidades se verían adecuadamente saciadas por la maceta.

3.2.4.3. - Recopilación de datos

Para adquirir los datos a trabajar se emplearán los sensores mencionados anteriormente en la sección 3.2.2.2: *“Selección de componentes electrónicos”*. Con el sensor DHT22 encargado de recopilar los datos relacionados con la temperatura y humedad relativa, el sensor de humedad de suelo para determinar la cantidad de agua en la tierra y el foto resistor que evaluará la cantidad de luz recibida por la planta.

3.2.4.4. - Análisis de datos

Los datos recopilados por los sensores se registran continuamente y se valorarán instantáneamente por diferentes condicionales para decidir la acción que se ejecutará en función de esa entrada.

3.2.4.5. - Limitaciones

El carácter comercial de los sensores puede influir en su calibración así como la precisión a la hora de recoger los datos. Por añadido contamos con un tiempo limitado para el desarrollo del software y, en general, el desarrollo del proyecto dada su complejidad.

Por otro lado, no disponemos de las herramientas ideales para realizar con precisión los cortes y huecos necesarios en la maqueta, la falta de enrutadoras o una máquina CNC, entre otras, hace que el proceso sea menos preciso.

3.3. - Desarrollo

En esta sección, se presenta el proceso de desarrollo del proyecto con un enfoque específico en la programación del sistema y la construcción de la maceta. Esta fase del proyecto representa una etapa crucial en la implementación de la solución propuesta, donde se traducen los conceptos teóricos en soluciones prácticas y tangibles.

El desarrollo del proyecto se lleva a cabo en dos frentes principales: la programación del sistema de automatización y la construcción de la maqueta. La programación implica la codificación de algoritmos y la configuración de dispositivos electrónicos para controlar y monitorear las condiciones ambientales en la maqueta. Por otro lado, la construcción de la maqueta implica la selección de materiales adecuados y la creación de un entorno de cultivo realista que pueda albergar plantas y simular condiciones de luz, humedad y temperatura.

3.3.1. - Código

El proceso de programación se basa en la integración de sensores y actuadores para recopilar datos ambientales y realizar acciones automáticas en respuesta a las necesidades de las plantas. Se utiliza un enfoque iterativo de desarrollo de software, donde se realizan pruebas y ajustes continuos para optimizar el rendimiento del sistema y garantizar su eficacia en la gestión del cuidado de las plantas.

El objetivo principal del código es crear un dispositivo que pueda medir las diferentes métricas como la temperatura, la humedad relativa y la humedad del suelo entre otras y mostrar estas lecturas en una pantalla TFT. Se comienza con un diseño funcional de las tareas que se quiere que el código lleve a cabo para posteriormente concretar con la sintaxis apropiada del lenguaje de programación que se emplee, en este caso C++.

Comenzar a construir el programa final desde cero es una práctica muy compleja e induce normalmente error, por ello comenzamos con pruebas de componentes separados para, en un entorno controlado, experimentar con ellos y evaluar su comportamiento y la interacción con ellos.

Una vez todos los componentes han sido probados por separado y se posee un entendimiento de lo que se debe hacer, entonces procedemos a realizar el código que correrá sobre el hardware de nuestra maceta. El desarrollo del código se divide en varias etapas, cada una de las cuales se centra en aspectos específicos del funcionamiento del dispositivo.

Primeramente, se procede con la inicialización de las librerías que se van a emplear. En esta etapa, se importan las bibliotecas necesarias para controlar el sensor DHT, la pantalla TFT y establecer la conexión WiFi. Además, se definen constantes para configurar el pin del sensor DHT, el tipo de sensor, el intervalo de actualización de la pantalla y los detalles de la red WiFi a la que se conectará el dispositivo.

```
1 #include <Arduino.h>
2 #include <SPI.h>
3 #include <TFT_eSPI.h>
4 #include <Arduino.h>
5 #include <Adafruit_Sensor.h>
6 #include <DHT.h>
7 #include <DHT_U.h>
8 #include <WiFi.h>
9 #include "time.h"
```

Seguidamente, incluimos las matrices vectoriales que contienen la información de los iconos que van a ser mostrados en la pantalla. Estas cuentan 64 filas y 64 columnas, en representación de cada píxel del icono. Un ejemplo es el siguiente, se reduce el número de líneas por la cantidad tan grande de estas (el código completo se muestra en el anexo x):

```
12 const unsigned char icon__Clock [] PROGMEM = {
13     0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
14     0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
15     0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x3f, 0xf8, 0x00, 0x00, 0x00,
16     0x00, 0x00, 0x01, 0xff, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07, 0xff, 0xff, 0xe0, 0x00, 0x00,
17     0x00, 0x00, 0x1f, 0xff, 0xff, 0xf0, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x7f, 0xe0, 0x0f, 0xfc, 0x00, 0x00,
18     0x00, 0x00, 0xff, 0x00, 0x00, 0xfe, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0xf8, 0x00, 0x00, 0x3f, 0x80, 0x00,
19     0x00, 0x03, 0xf0, 0x00, 0x00, 0x1f, 0xc0, 0x00, 0x00, 0x07, 0xc0, 0x00, 0x00, 0x07, 0xe0, 0x00,
20     0x00, 0x0f, 0x80, 0x00, 0x00, 0x03, 0xe0, 0x00, 0x00, 0x1f, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0xf0, 0x00,
21     0x00, 0x3e, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0xf8, 0x00, 0x00, 0x3c, 0x00, 0x03, 0x80, 0x00, 0x7c, 0x00,
22     0x00, 0x7c, 0x00, 0x03, 0xc0, 0x00, 0x3c, 0x00, 0x00, 0x78, 0x00, 0x03, 0xc0, 0x00, 0x3e, 0x00,
23     0x00, 0xf0, 0x00, 0x03, 0xc0, 0x00, 0x1e, 0x00, 0x00, 0xf0, 0x00, 0x03, 0xc0, 0x00, 0x1f, 0x00,
24     0x01, 0xf0, 0x00, 0x03, 0xc0, 0x00, 0x0f, 0x00, 0x01, 0xe0, 0x00, 0x03, 0xc0, 0x00, 0x0f, 0x00,
25     0x01, 0xe0, 0x00, 0x03, 0xc0, 0x00, 0x0f, 0x00, 0x03, 0xe0, 0x00, 0x03, 0xc0, 0x00, 0x07, 0x80,
26     ...};
```

Después, se declaran las variables que se van a utilizar a lo largo del código. En esta etapa, se inicializan los objetos que representan el sensor DHT y la pantalla TFT.

```
208 TFT_eSPI tft = TFT_eSPI();  
209 TFT_eSprite img = TFT_eSprite(&tft);
```

Una vez hecho esto, se explicitan las funciones creadas para poder utilizarlas a lo largo del código.

```
348 float getSoilMoisture() {  
349     value = analogRead(SenPin);  
350     if (value > 1000) { if (value > highest) { highest = value; } }  
351     else { if (value < lowest) { lowest = value; } }  
352     int mapped = map(value, lowest, highest, 100, 0);  
353     return mapped;  
354 }
```

A continuación, se realiza la configuración del entorno. También se establece la comunicación serial para la depuración (*debugging*) y se configuran algunos parámetros como la rotación de la pantalla TFT según sea necesario.

```
589 void setup() {  
590     Serial.begin(9600);  
591  
592     //DHT22 setup  
593     dht.begin();  
594     sensor_t sensor;  
595     dht.temperature().getSensor(&sensor);  
596     dht.humidity().getSensor(&sensor);  
597     dhtDelayMS = 2000;  
648     ...}
```

Por último se inicializa la sección *loop()* la cual se ejecutará continuamente una vez todo lo mencionado anteriormente se haya ejecutado. En esta Se evalúan los parámetros de los sensores así como la posición del *rotary encoder* para dibujar el

menú y las diferentes pantallas. Esta parte del código es la más corta, ya que el mayor peso del código recae sobre las funciones creadas para interceptar y procesar los diferentes eventos.

```
654 void loop() {
655
656     NewStateCLK = digitalRead(CLKPin);
657
658     if (NewStateCLK != OldStateCLK) {
659         if (itemPage == 0) {
660
661             if (digitalRead(DTPin) == NewStateCLK) {counter++;}
662             else {counter--;}
663             if (counter < 0) {counter = iconArray_LEN - 1;}
664             if (counter > iconArray_LEN - 1) {counter = 0;}
665
666             current_icon = counter;
667
668             previous_icon = current_icon - 1;
669             if (previous_icon < 0) {previous_icon = iconArray_LEN - 1;}
670             next_icon = current_icon + 1;
671             if (next_icon > iconArray_LEN - 1) {next_icon = 0;}
672             drawSelectionMenu();
673         }
674     }
675
676     OldStateCLK = NewStateCLK;
677
678     if (digitalRead(button) != 1) {
679         handleButtonPress();
680         printSelectionMenuLogic();
681         printSelectedItemLogic();
682     }
683 }
```

Finalmente, todo el código se encuentra en el anexo , y también se puede encontrar en el repositorio de [Github del proyecto](#).

3.3.2. - Construcción de la maceta

La creación de la maqueta requirió un enfoque meticuloso que abarcó desde el diseño inicial en AutoCAD hasta el ensamblaje final de todos los componentes. En esta sección, se detallará el proceso paso a paso, desde la concepción de los planos hasta las pruebas y ajustes realizados para garantizar el funcionamiento óptimo del dispositivo. Se explorará el diseño de los planos en AutoCAD, la selección de materiales y componentes, el corte y preparación de los materiales, el ensamblaje de la estructura y las pruebas exhaustivas llevadas a cabo para validar el rendimiento de la maqueta. Este análisis proporcionará una visión completa del desarrollo del proyecto y destacará los desafíos y decisiones clave que se enfrentaron en el camino hacia la creación de la maqueta funcional y estéticamente satisfactoria.

Primeramente, el proceso de desarrollo de la maqueta comenzó con el diseño detallado de los planos en AutoCAD. Se elaboraron planos que incluían las dimensiones precisas de cada componente, así como las ubicaciones de los orificios de montaje y las rutas de los cables. Se prestó especial atención a la disposición de los componentes para garantizar una estructura compacta y funcional. Aunque estos han sido modificados en varias ocasiones para resolver conflictos que surgieron durante el proceso.

Una vez preparados todos los materiales, se procedió al ensamblaje de la estructura de la maqueta. Se unieron los tableros de madera cortados mediante tornillos, asegurando una unión sólida y duradera. Se montaron los componentes electrónicos en sus ubicaciones designadas y se conectaron entre sí siguiendo las rutas de cableado previamente planificadas según el esquema electrónico en el anexo 6.2.

Finalmente, tras corregir muchos errores en el prototipo y buscar soluciones para lograr el ensamblaje preciso de la estructura y la realización de pruebas exhaustivas para garantizar un funcionamiento óptimo del dispositivo, el resultado final es una maqueta funcional y estéticamente atractiva que cumple con los objetivos establecidos.

3.4. - Resultados

Hasta el momento, lamentablemente, no se ha dispuesto del tiempo necesario para llevar a cabo una comparación exhaustiva entre los resultados obtenidos mediante la automatización implementada y el método tradicional de ejecución de tareas. La complejidad del proyecto y los recursos limitados han impedido realizar pruebas completas que permitan evaluar con precisión el rendimiento y la eficiencia del sistema automatizado en comparación con los métodos convencionales.

Sin embargo, a pesar de esta limitación, el diseño y la implementación del sistema automatizado han generado expectativas prometedoras. La optimización de los procesos mediante la automatización tiene el potencial de mejorar significativamente la velocidad, la precisión y la consistencia en la ejecución de tareas, lo que podría traducirse en un aumento de la productividad y la eficiencia en el futuro.

Se espera que, una vez se disponga del tiempo necesario para realizar pruebas y comparaciones rigurosas, se puedan obtener resultados más concretos y cuantificables que validen la eficacia y el valor agregado de la automatización frente al método tradicional. Esta fase de evaluación y análisis será fundamental para identificar áreas de mejora y optimización continua del sistema automatizado, con miras a maximizar sus beneficios y su impacto en el contexto específico de aplicación.

Capítulo 4. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

El proyecto ha demostrado la viabilidad y el potencial de la automatización para mejorar la eficiencia y la comodidad en la vida diaria. La integración de dispositivos conectados y sistemas inteligentes ha permitido optimizar procesos y simplificar tareas, brindando una solución efectiva a un problema concreto.

Además, se ha destacado la importancia del diseño y la planificación cuidadosa en el desarrollo de sistemas automatizados. Desde la concepción de la idea hasta la implementación final, cada paso ha requerido un análisis detallado y una consideración minuciosa de los requisitos y las limitaciones del proyecto.

Lejos de explotar al máximo las posibilidades de este proyecto y llegar hasta el final, con todo lo que ello implica, este trabajo ha sido muy satisfactorio de realizar, pues, a parte de realizar su función y solucionar un problema de la vida cotidiana, ha servido como una gran vía de aprendizaje y de ahondamiento en temas como el *Internet of Things*, la automatización y la electrónica en general.

Por tanto, en vistas a todos los posibles caminos aún por explorar y las amplias posibilidades en el futuro desarrollo del proyecto, he de mencionar algunas de las futuras líneas de trabajo.

4.1. - Optimización de la maqueta

El formato del prototipo es únicamente un indicativo lejos del modelo refinado diseñado para la producción en masa. Las limitaciones técnicas y de materias primas reducen las posibilidades de diseño drásticamente, teniendo que optar por adoptar un diseño más simple y fácil de ejecutar con herramientas cotidianas, evitando, por tanto, elementos que pudieran elevar la complejidad del diseño.

Por otro lado, la innegable existencia de plantas de diferentes tamaños implica a su vez la necesidad de incorporar nuevos diseños en relación a las dimensiones de la planta que se desea alojar dentro del sistema.

4.2. - Optimización del código

La inexperiencia como programador, especialmente al enfrentarse por primera vez al lenguaje C++, ha resultado en fallos en la estructura del programa. Estos errores no solo afectan la eficiencia y la legibilidad del código, sino que también dificultan su expansión y modificación futuras. La falta de comprensión de los principios fundamentales de la programación y las mejores prácticas ha contribuido a esta situación.

Se espera una futura mejora en el código que mejore significativamente la calidad y la capacidad de mantener el código actualizado, facilitando su expansión y modificación futuras. Al mejorar la estructura y la organización del código, se reducirá la complejidad y el riesgo de errores, lo que permitirá un desarrollo más eficiente y una mayor flexibilidad en la implementación de nuevas funcionalidades.

4.3. - Registro y procesamiento atemporal de los datos

Los datos generados por los sensores, una vez procesados, son desechados por el programa una vez se ejecuta de nuevo. Esto podría solucionarse mediante la implementación de una pequeña unidad de almacenamiento local, como una pequeña tarjeta SD, que periódicamente enviara todos estos datos a una base de datos remota alojada en la nube mediante plataformas como ThingSpeak o mediante alojamiento de un servidor local conectado a internet.

Esto nos llevaría al siguiente nivel, el procesamiento posterior de los datos. Con la inmensa cantidad de datos generados por el dispositivo, una vez guardados y correctamente tratados, estos podrían atravesar una segunda fase de evaluación, mucho menos apresurada y más refinada. La inclusión de un algoritmo de aprendizaje, mediante el uso de *machine learning*, aplicado a los datos obtenidos podría potencialmente añadir una capa extra de rendimiento y optimización, posibilitando un mejor cuidado de la planta a través de la predicción de factores como la hora ideal para comenzar a iluminar artificialmente la planta, detectar cuándo la va a necesitar ser regada u otros factores de gran importancia.

4.4. - Inclusión de nuevos sensores

La cantidad de sensores en el proyecto es mínima, para realizar una maceta inteligente capaz de ser un producto comercial completo esta debe de contar con sensores no incluidos que aporten información crucial como la cantidad de agua en el depósito.

4.5. - Adición de funcionalidades extra

Del mismo modo, se presenta un número reducido de capacidades con las que cuenta la maceta. El menú principal puede ser ampliado con nuevas pantallas, como una página en la que se mostrara una cara simple formada por un par de puntos por ojos y una línea por boca que reaccionara en función de los datos recogidos por los sensores, mostrando calor si la temperatura es muy alta, tiritando si hace frío o cerrando los ojos si está recibiendo mucha luz.

También cabría la posibilidad de añadir nuevas características como la regulación de la altura del techo por medio de motores, con el objetivo de poder introducir un mayor número de variedad de plantas así como para acompañarlas durante su crecimiento, u otras posibilidades.

En última instancia, este proyecto es solo el comienzo de un viaje continuo hacia la exploración y la innovación en el campo de la automatización y el IoT. Con un enfoque en la mejora continua y la adaptación a las tendencias tecnológicas emergentes, se pueden lograr avances significativos en la creación de soluciones inteligentes y eficientes para mejorar la calidad de vida y la productividad en diversos contextos.

Capítulo 5. Bibliografía

1: Vijja Wichitwechkarn, William Rohde, Ruchi Choudhary, Design and validation of an open-sourced automation system for vertical farming, 2023

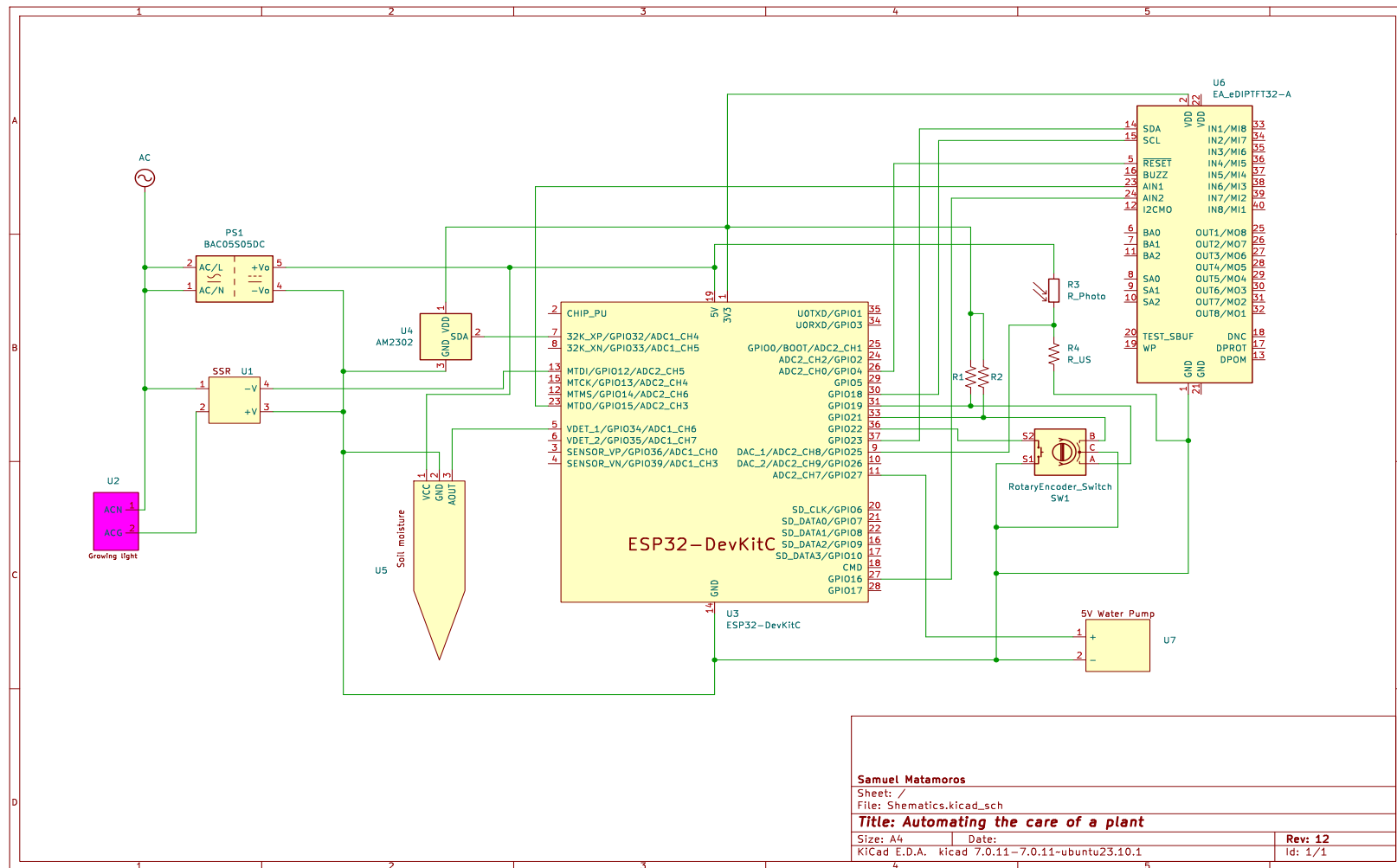
2: Mohd Salim Mir, Nasir Bashir Naikoo, Raihana Habib Kanth, FA Bahar, M Anwar Bhat, Aijaz Nazir, S Sheraz Mahdi, Zakir Amin, Lal Singh, Waseem Raja, AA Saad, Tauseef A Bhat, Tsultim Palmo and Tanveer A Ahngar, Vertical farming: The future of agriculture: A review, 2022

Capítulo 6. Anexos

6.1. - Diagrama de Gannt / Organigrama



6.2. - Esquema electrónico



6.3. - Planos

