



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA **“Ceutec”**



DISEÑO **MECATRONICO**

Sección 1080

+ **Grupo de trabajo:** #5

+ **Integrantes & números de cuentas:**

1. Andrés Eduardo Hernández Fajardo ----- 62241404
2. Geovanni Manuel Fernández Rodríguez -- 61921400
3. Moisés Alberto Pineda Cortez ----- 61541579
4. Victor David Lovo Zaldívar-----62111478

+ **Carrera:** Ingeniería Electrónica.

+ **Ing.** Diego Leonardo Matute Madrid

+ **Asunto:** Entrega parcial V

Plan de prototipado para un sistema mecatrónico

Proyecto: “Asistente Automatico De Riego”

+ **Fecha:** 16/06/2025

+ **Email:** diego_matute@unitec.edu

+ **Hora de clase:** 6:00 pm

Lunes/Miercoles/Viernes

Índice

Objetivos Generales:	2
Objetivos Específicos:	2
1. Resumen Ejecutivo:	4
2. Gestión De Requisitos:.....	6
3. Diseño CAD & Fabricación Digital:	8
Diseño Mecánico En SolidWorks Del Asistente Automatizado De Riego:	9
Simulación & optimización Del Asistente De Riego En Entorno ANSYS:	12
4. Integración Electrónica:	14
Circuito Electrónico Diseñado En TinkerCAD:	15
Codigo De Programación:.....	17
Diagrama Electrónico Esquemático:.....	20
Link De La Simulación En TinkerCAD:	20
5. Control & Software Embebido:	21
6. Plan De Ensamblaje Multidominio:	23
7. Validaciones Múltiples según VDI 2206:.....	25
8. Consideraciones Adicionales:.....	26
9. Conclusiones & Sigüientes Pasos:	27
10. Referencias Bibliográficas:	28
11. Anexos:	29

Objetivos Generales:

- ✚ Desarrollar un sistema de riego automatizado que optimice el uso de agua en cultivos o jardines mediante sensores y control electrónico.
- ✚ Integrar disciplinas de mecatrónica (mecánica, electrónica y software) para crear un dispositivo funcional y eficiente.
- ✚ Reducir la intervención humana en el proceso de riego, garantizando precisión y ahorro de recursos.
- ✚ Validar el diseño mediante herramientas de simulación (SolidWorks y ANSYS) para asegurar su viabilidad técnica.
- ✚ Fomentar la sostenibilidad mediante el uso eficiente de agua y energía.

Objetivos Específicos:

Diseño Mecánico & Simulación

- ✚ Modelar en SolidWorks un chasis modular que integre los componentes electrónicos y mecánicos.
- ✚ Validar mediante ANSYS la resistencia estructural del sistema ante vibraciones, cargas estáticas y condiciones ambientales.
- ✚ Garantizar que el ensamblaje final sea ergonómico, con fácil acceso para mantenimiento y reparaciones.

Automatización & Electrónica:

- ✚ Implementar un sensor de humedad calibrado para detectar variaciones mínimas en el suelo.
- ✚ Integrar 4 motores DC (uno por rueda) con control de velocidad independiente para maniobrabilidad precisa.
- ✚ Conectar una bomba de agua sumergible de bajo consumo, activada solo cuando el sensor lo requiera.
- ✚ Diseñar un circuito impreso (PCB) compacto que evite interferencias y garantice estabilidad en la señal de los sensores.

Programación & Lógica de Control:

- ✚ Desarrollar un algoritmo en Arduino que active el riego solo al detectar humedad por debajo de un umbral programable.

- ✚ Incorporar un sistema de detección de obstáculos (ultrasónico o infrarrojo) para evitar colisiones.
- ✚ Implementar un modo de bajo consumo energético durante periodos de inactividad para optimizar la batería.

Pruebas & Optimización:

- ✚ Realizar pruebas en distintos tipos de suelo (arenoso, arcilloso) para ajustar la sensibilidad del sistema.
- ✚ Medir la eficiencia del riego comparando el consumo de agua frente a métodos tradicionales.
- ✚ Documentar fallas comunes y soluciones para futuras versiones, asegurando escalabilidad del proyecto.





1. Resumen Ejecutivo:

El proyecto titulado "Asistente de Riego Automatizado", desarrollado por el Grupo #5 de la clase de Diseño Mecatrónico, tiene como objetivo principal facilitar y optimizar el proceso de riego en áreas pequeñas de cultivo o jardines mediante un sistema autónomo e inteligente. Este asistente es capaz de monitorear continuamente las condiciones de humedad del suelo y activar automáticamente un mecanismo de riego solo cuando es necesario, contribuyendo así a un uso más eficiente del agua y al mantenimiento adecuado de las plantas.

El sistema está compuesto por diversos componentes electrónicos y mecánicos integrados entre sí. Entre los principales elementos se incluyen sensores de humedad del suelo, motores eléctricos para la movilidad del sistema, una bomba de agua sumergible que permite el riego, y una placa Arduino UNO que actúa como el cerebro del dispositivo, ejecutando el código de control que regula todas las funciones.

Desde el enfoque de diseño, se elaboró un modelo 3D detallado en SolidWorks, que incluyó las partes más relevantes del sistema, tales como el chasis, ruedas, motores y estructuras de soporte para los componentes electrónicos. Este modelo fue sometido a simulaciones estructurales en ANSYS para validar su resistencia mecánica y su comportamiento ante posibles esfuerzos y cargas durante la operación del sistema, garantizando así una estructura robusta y confiable.

El desarrollo del proyecto se dividió en cuatro roles fundamentales:

-  **Ingeniero mecánico:** responsable de la concepción, diseño y validación del modelo físico y estructural del sistema.
-  **Ingeniero electrónico:** encargado de la selección, conexión e integración de los sensores, actuadores, motores y la bomba de agua.
-  **Ingeniero de control:** centrado en el desarrollo de la lógica de control que permite el funcionamiento autónomo del sistema, utilizando la plataforma Arduino.
-  **Ingeniero informático:** responsable de la programación del microcontrolador, optimización del código y posibles integraciones futuras con interfaces gráficas o plataformas de monitoreo remoto.

Gracias al trabajo colaborativo del equipo y a una planificación adecuada, el proyecto Asistente de Riego Automatizado ha logrado consolidarse como un sistema funcional, confiable y operativo, cumpliendo con los objetivos establecidos desde su concepción. Cada fase del desarrollo, desde la ideación hasta la integración de hardware y software, fue ejecutada con una clara orientación a la solución de una problemática real, aplicando los conocimientos adquiridos en distintas áreas de la ingeniería mecatrónica.

Actualmente, el sistema se encuentra en su fase final de mejoras y ajustes, en la cual se están afinando aspectos clave que pueden impactar significativamente en su desempeño general.

Estas mejoras se centran principalmente en:

- ✚ La eficiencia energética, mediante la evaluación del consumo de cada componente y la posible implementación de fuentes de energía renovable como paneles solares, lo cual reforzaría el enfoque sostenible del proyecto.
- ✚ La precisión del sistema de riego, mejorando los algoritmos de lectura y análisis de humedad para activar la bomba solo en el momento oportuno, evitando riegos innecesarios y asegurando un uso racional del agua.
- ✚ La robustez de la estructura, evaluando tanto los materiales como el diseño mecánico, con el fin de aumentar la durabilidad del prototipo y su capacidad para operar en entornos reales, donde puede estar expuesto a condiciones climáticas adversas o terrenos irregulares.

En conjunto, este proyecto no solo demuestra la aplicación práctica e interdisciplinaria de los conocimientos técnicos adquiridos durante la carrera en áreas como diseño mecánico, electrónica, programación, control y gestión de proyectos, sino que también se presenta como una solución tangible y escalable para enfrentar los desafíos actuales en torno al uso responsable del recurso hídrico. Su diseño sostenible y automatizado responde directamente a las necesidades de sectores como la agricultura urbana, huertos domésticos, invernaderos inteligentes, o incluso proyectos educativos enfocados en el desarrollo tecnológico con impacto ambiental positivo.

Así, el “Asistente Automatico De Riego” no solo cumple con los requerimientos académicos y técnicos, sino que refleja el compromiso del equipo con la innovación, la eficiencia y la sostenibilidad, posicionándose como una propuesta con gran potencial para evolucionar hacia un producto real que aporte soluciones concretas a la sociedad.

2. Gestión De Requisitos:

Todos los requisitos funcionales han sido cumplidos exitosamente, mientras que los no funcionales están en etapas avanzadas de implementación. La trazabilidad permite rastrear cada requisito hasta su componente físico o software correspondiente, asegurando coherencia en el desarrollo.

ID:	Requisitos:	Tipo:	Estado:	Trazabilidad:
F1	Detección automática de humedad mediante sensores	Funcional	Cumplido	Vinculado a sensor de humedad y código Arduino
F2	Activación de bomba de agua cuando el suelo esté seco	Funcional	Cumplido	Relacionado con bomba de agua y lógica de control
F3	Movimiento autónomo mediante 4 motores (uno por rueda)	Funcional	Cumplido	Conectado a Shield L293D y motores DC
NF1	Diseño compacto y resistente	No funcional	Cumplido	Validado en SolidWorks y ANSYS
NF2	Bajo consumo energético	No funcional	En progreso	Optimización en fase de pruebas con baterías

La gestión de requisitos para el Asistente de Riego Automatizado se ha estructurado en dos categorías principales:

Requisitos Funcionales (F):

- ✚ F1 y F2 garantizan que el sistema detecte la humedad del suelo y active el riego de manera autónoma, integrando sensores y actuadores (bomba de agua).
- ✚ F3 asegura la movilidad del dispositivo mediante cuatro motores controlados por el Shield L293D, permitiendo navegación en terrenos variados.

Requisitos No Funcionales (NF):

- ✚ NF1 aborda la robustez del diseño, validado mediante simulaciones en SolidWorks y ANSYS.
- ✚ NF2 se enfoca en la eficiencia energética, actualmente en optimización para prolongar la autonomía con baterías de 9V y 1.5V.

La gestión de requisitos en el desarrollo del Asistente de Riego Automatizado ha sido un proceso sistemático y estructurado que ha permitido alinear las capacidades técnicas del sistema con las necesidades funcionales y operativas del proyecto. Desde las primeras etapas, se identificaron y categorizaron los requisitos en funcionales (relacionados directamente con las operaciones del sistema) y no funcionales (vinculados a

características de calidad, rendimiento y restricciones), lo que ha servido como guía para el diseño, implementación y validación del prototipo. Los requisitos funcionales, como la detección automática de humedad mediante sensores, la activación de la bomba de agua según condiciones del suelo y el movimiento autónomo mediante cuatro motores, se priorizaron para garantizar que el dispositivo cumpliera su propósito principal de manera eficiente. Por otro lado, los requisitos no funcionales, como el diseño compacto y resistente (validado mediante herramientas CAD y simulaciones en ANSYS) y el bajo consumo energético, han sido fundamentales para asegurar la durabilidad, usabilidad y sostenibilidad del sistema en entornos reales.

Para mantener un control efectivo sobre el cumplimiento de estos requisitos, se implementó una matriz de trazabilidad que vincula cada requisito con sus componentes físicos (sensores, motores, electrónica) y elementos de software (código de Arduino, lógica de control), permitiendo verificar su implementación en cada fase del proyecto. Esta metodología no solo ha facilitado la identificación temprana de posibles desviaciones o ajustes necesarios, sino que también ha servido como documentación de referencia para futuras iteraciones o mejoras.

Este proceso ha sido clave para transformar una idea conceptual en un prototipo funcional, equilibrando las demandas técnicas con las limitaciones prácticas, y asegurando que cada componente y línea de código contribuya directamente a los objetivos globales del proyecto: automatización eficiente, sostenibilidad y facilidad de uso.

3. Diseño CAD & Fabricación Digital:

El diseño mecánico del proyecto "Asistente de Riego Automatizado" fue desarrollado de manera íntegra utilizando el software de modelado tridimensional SolidWorks, una herramienta ampliamente utilizada en la ingeniería mecánica por su capacidad de generar representaciones precisas, detalladas y funcionales de sistemas físicos complejos. Gracias a esta plataforma, fue posible diseñar y visualizar digitalmente cada uno de los componentes estructurales del prototipo, permitiendo una mejor toma de decisiones desde las etapas iniciales del proyecto.

El objetivo principal del diseño fue crear una estructura que cumpliera simultáneamente con criterios de compactidad, funcionalidad y resistencia mecánica, asegurando que el sistema pudiera operar de forma autónoma en condiciones reales de uso, como terrenos exteriores y superficies irregulares. Asimismo, se buscó que el diseño ofreciera facilidad de ensamblaje y mantenimiento, contemplando la disposición ordenada de los componentes, el acceso a los mismos en caso de ajustes o fallas, y la posibilidad de reemplazo rápido de partes sin comprometer la integridad del conjunto.

El entorno de SolidWorks permitió realizar ensamblajes virtuales, con los cuales se verificó la correcta interacción entre piezas, las tolerancias, las restricciones de movimiento y los puntos de contacto entre los componentes, reduciendo el riesgo de errores en la fabricación física. Este enfoque permitió simular condiciones operativas antes de construir el prototipo, anticipando problemas potenciales y asegurando un diseño robusto y bien adaptado a los requerimientos del sistema.

Este proceso de diseño mecánico no solo facilitó el desarrollo físico del asistente, sino que también sentó las bases para futuras mejoras, como la ampliación del chasis, la integración de más sensores o la implementación de soluciones de movilidad más avanzadas, reforzando el carácter escalable y adaptable del proyecto.

Las principales piezas modeladas fueron:

- ✚ **Chasis:** constituye la estructura principal del sistema. Está diseñado para soportar el peso de todos los componentes electrónicos (Arduino UNO, batería, sensores, bomba de agua, cables, etc.) y mecánicos, ofreciendo estabilidad y resistencia en condiciones reales de uso. Su forma y dimensiones se optimizaron para lograr un centro de gravedad bajo, lo que mejora la estabilidad durante la marcha.
- ✚ **Ruedas:** se diseñaron específicamente para proporcionar movilidad eficiente en terrenos irregulares o con diferentes tipos de superficie, como tierra húmeda o césped. Se seleccionó un diseño con suficiente tracción para evitar deslizamientos y garantizar un desplazamiento fluido del asistente.
- ✚ **Motores (4 unidades):** cada motor está acoplado a una rueda, permitiendo un movimiento autónomo y controlado en diferentes direcciones. Su integración en

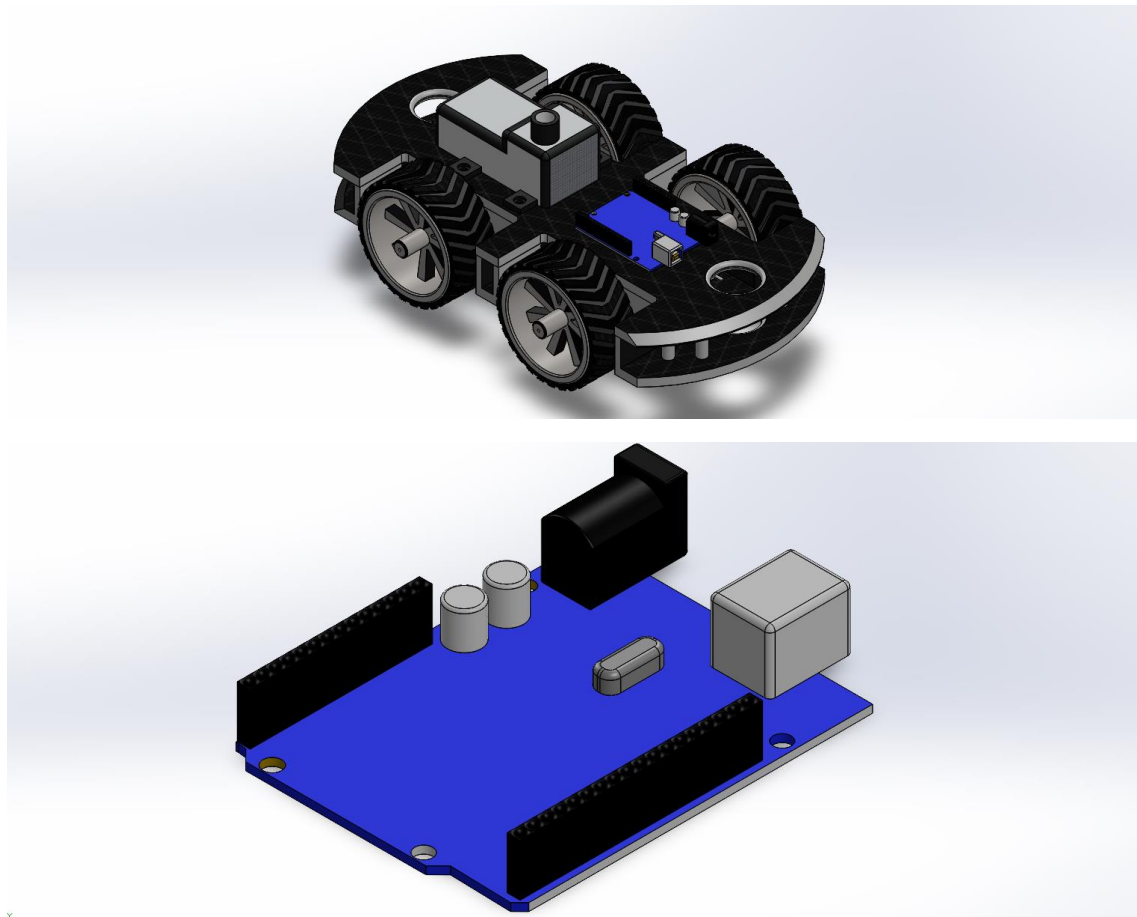
el diseño CAD incluyó los soportes correspondientes para su fijación firme al chasis, teniendo en cuenta tanto la alineación como el espacio necesario para el cableado.

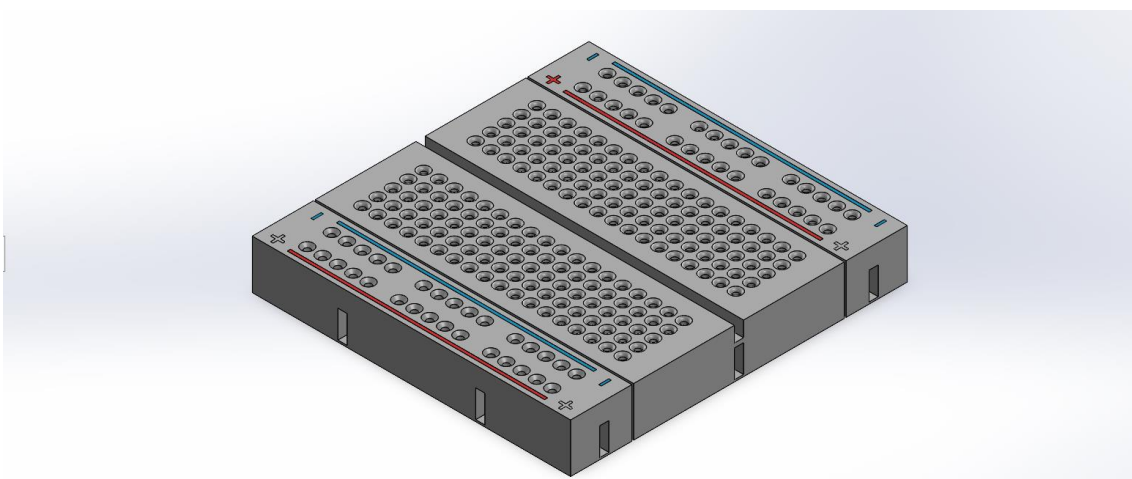
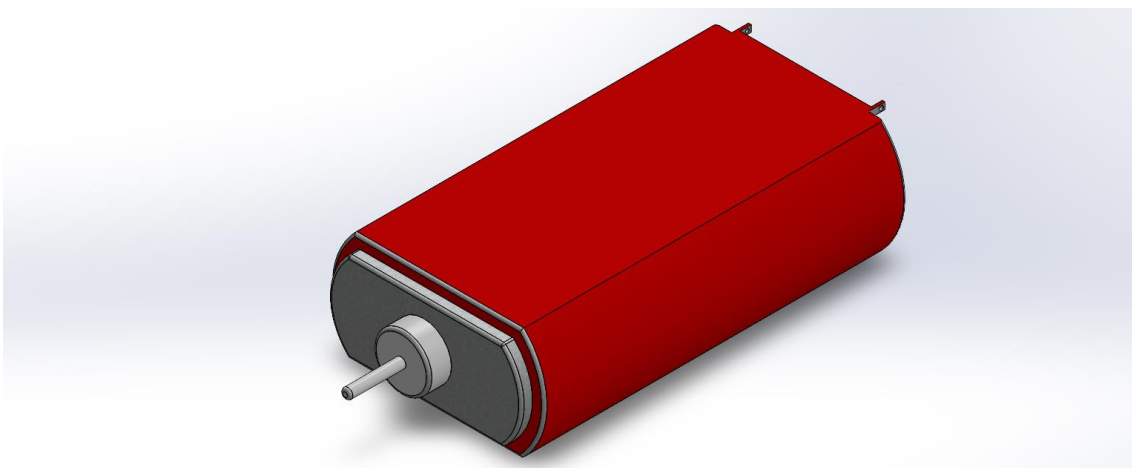
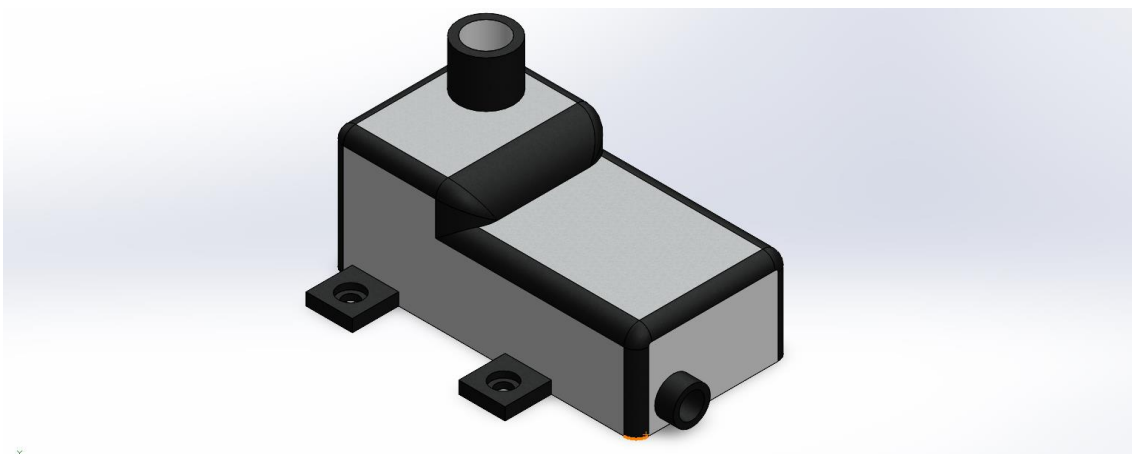
✚ **Soportes para la bomba de agua y sensores:** se diseñaron estructuras adicionales para sujetar firmemente la bomba de agua sumergible y los sensores de humedad del suelo, asegurando su correcto funcionamiento durante el movimiento del sistema. Estos soportes fueron modelados de manera que se adaptaran a la forma de los componentes y permitieran un montaje sencillo.

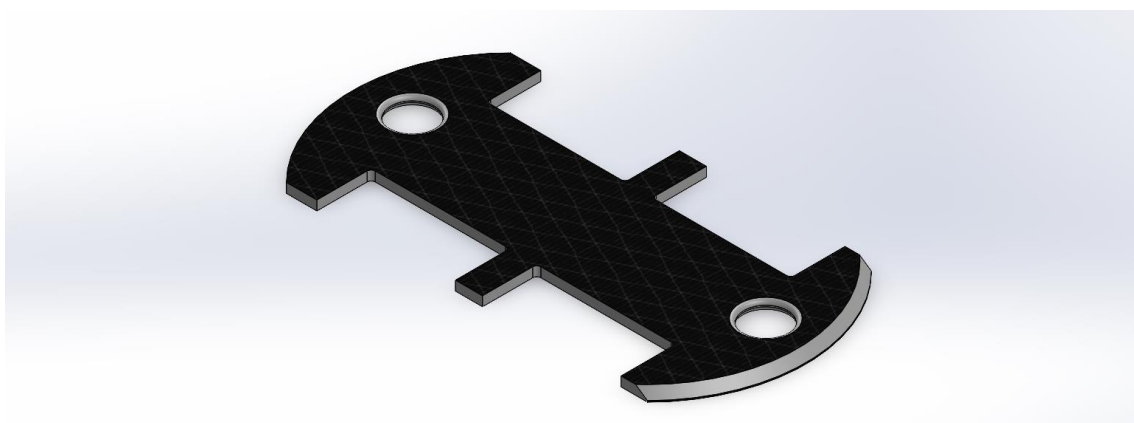
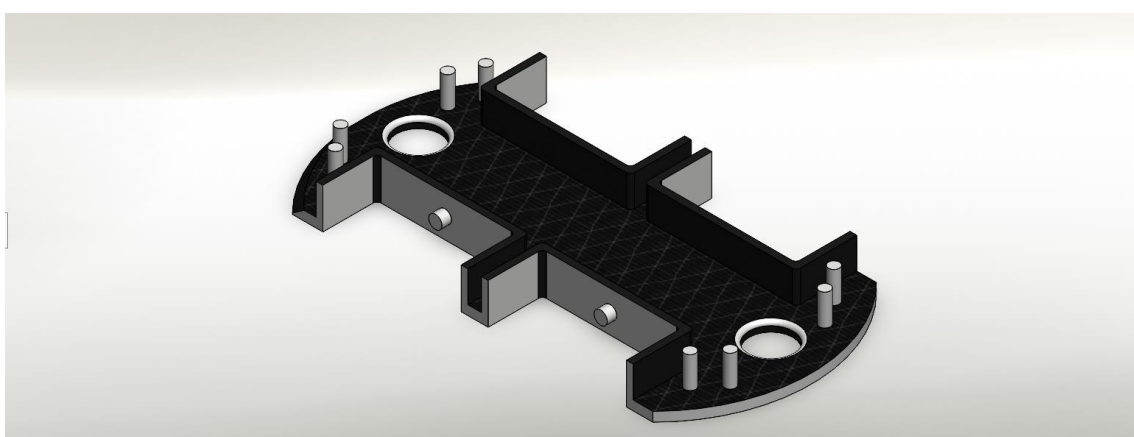
Una vez completado el diseño en SolidWorks, se realizaron simulaciones estructurales en ANSYS, con el fin de evaluar factores como la resistencia mecánica del chasis, la distribución de cargas y las zonas críticas de tensión. Estas simulaciones permitieron identificar posibles puntos de falla y realizar ajustes preventivos antes de fabricar físicamente las piezas, lo que garantizó un diseño final más confiable, seguro y eficiente.

A continuación, se presentan imágenes del modelo CAD desarrollado, que ilustran cada una de las partes mencionadas, así como el ensamblaje completo del sistema:

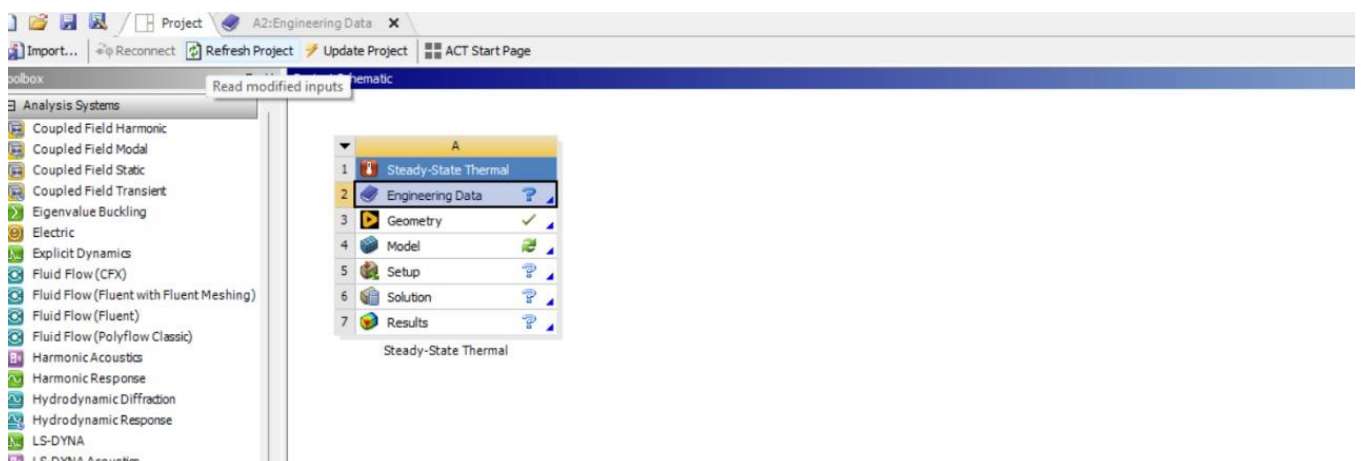
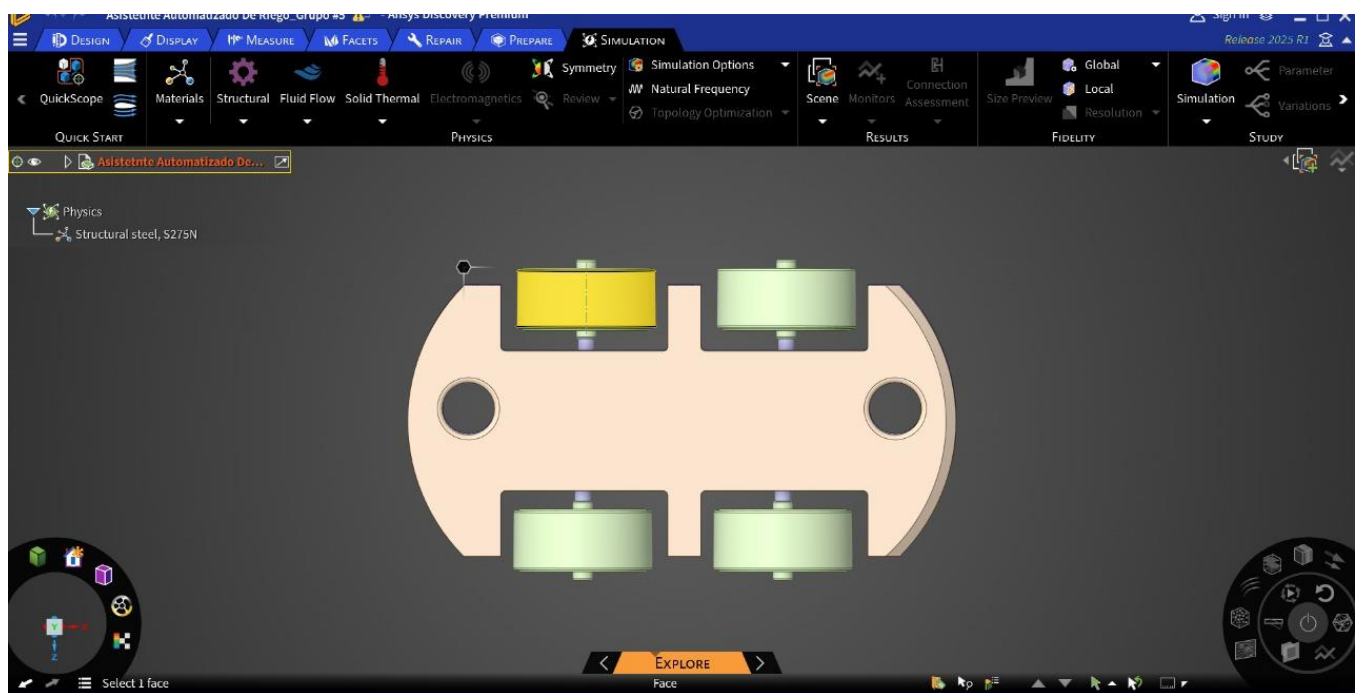
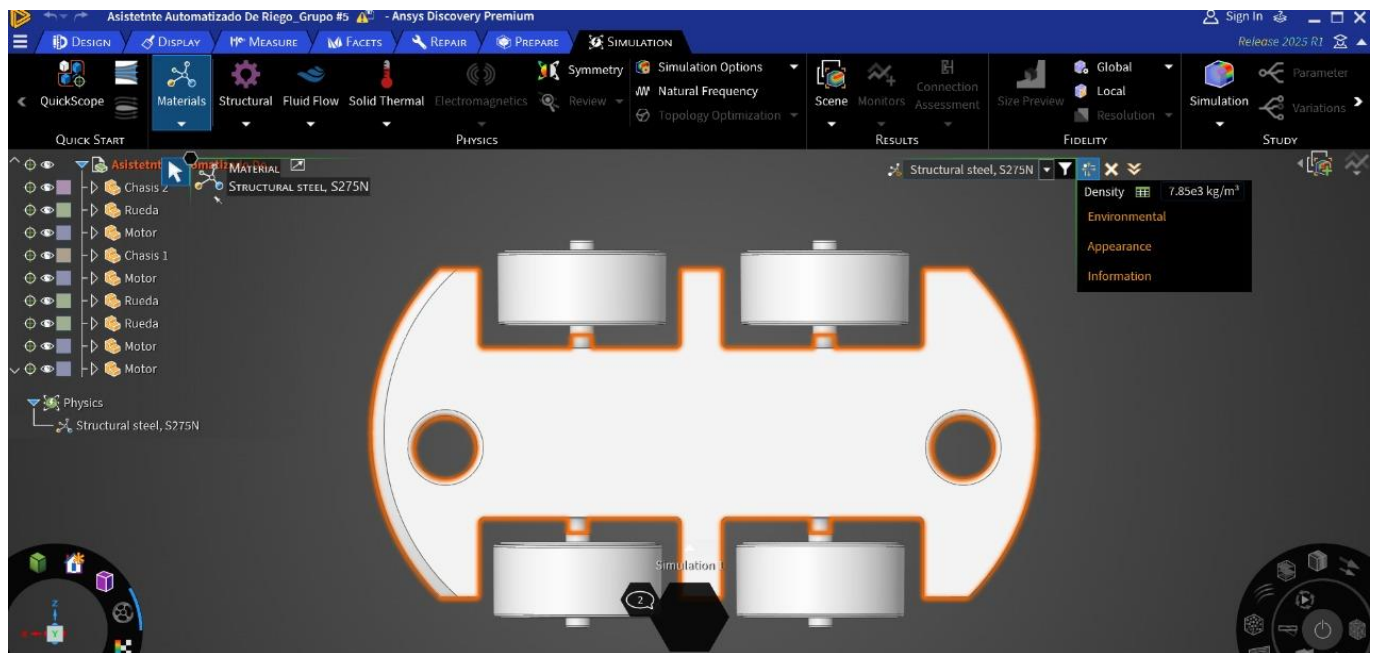
Diseño Mecánico En SolidWorks Del Asistente Automatizado De Riego:

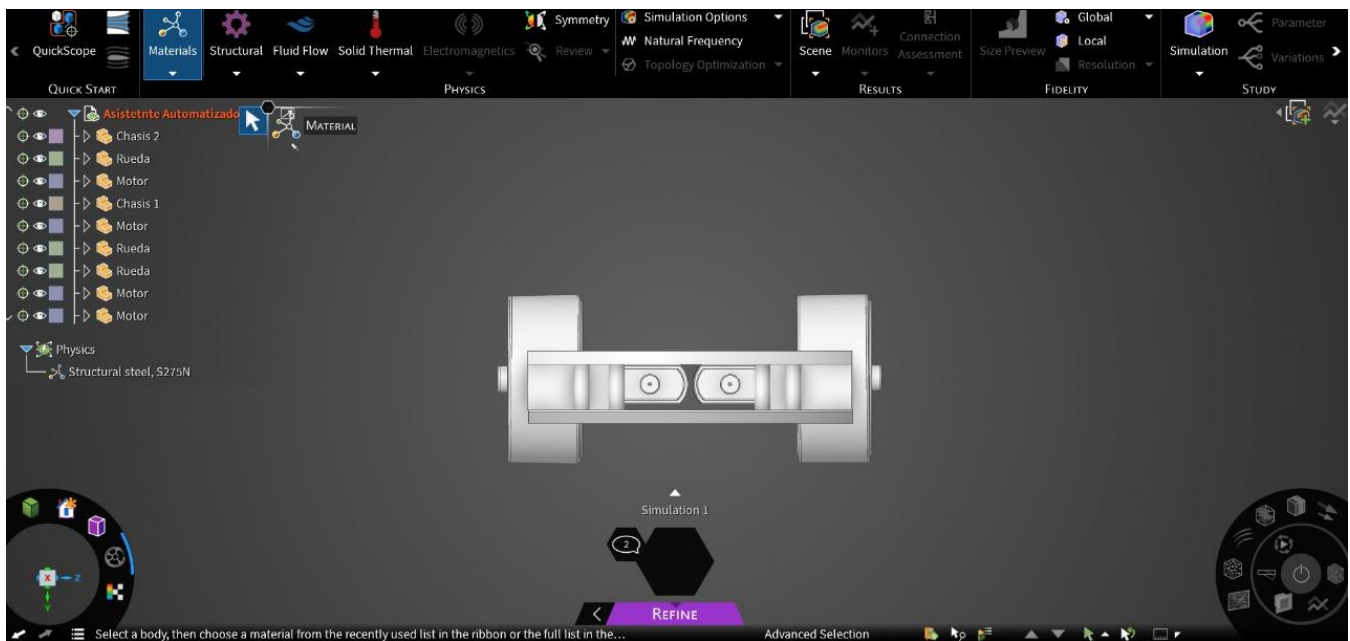
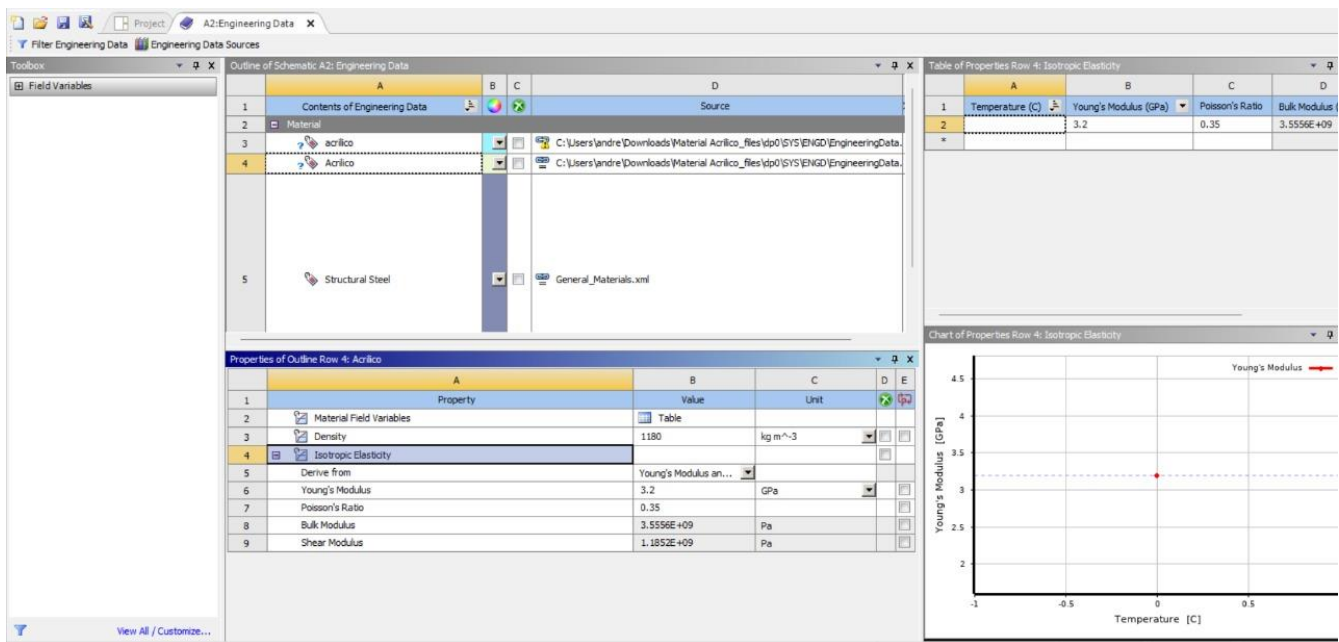






Simulación & optimización Del Asistente De Riego En Entorno ANSYS:








4. Integración Electrónica:

Componentes:	Cantidad:	Especificaciones_
Placa Arduino UNO	1	Microcontrolador ATmega328P, 5V, 14 E/S digitales, 6 entradas analógicas
Shield L293D	1	Driver para motores DC, control de 4 motores (hasta 600mA por canal), protección contra cortocircuitos, alimentación externa de 5-12V
Motores DC	4	6-12V, 100-300 RPM, con reductora para mayor torque en ruedas
Bomba sumergible	1	3.5-9V, flujo ajustable, resistente a la corrosión
Sensor de humedad	1	Rango de detección 0-100% humedad, salida analógica/digital
Sensor ultrasónico	1	HC-SR501 (PIR), alcance de 5 a 15 cm, ajuste de sensibilidad
Cables de conexión	Los necesarios	AWG 22-24, cables DuPont para prototipado
Interruptores encendido/apagado	2	Interruptores SPDT, 5A/250V, diseño ergonómico
Batería 9V	1	Para alimentación del Arduino y circuitos lógicos
Fuente externa de 6V	1	Alimentación estable para motores y bomba, conexión DC o baterías recargables
Contenedor de agua	1	Hecho de material resistente con tapa antiderrames
Mangueras conectadas a la bomba	2	Flexibles y compatibles con la bomba



El sistema electrónico del Asistente de Riego Automatizado está diseñado para operar de manera autónoma y eficiente. El Arduino UNO actúa como el cerebro del proyecto, procesando datos del sensor de humedad (para determinar cuándo regar) y del sensor de movimiento (para evitar obstáculos). Los 4 motores DC permiten el desplazamiento del dispositivo, mientras que la bomba sumergible se activa solo cuando el suelo requiere riego, optimizando el consumo de agua.

El **Shield L293D** es un módulo crítico para el control de los 4 motores DC y la bomba de agua. Actúa como un puente entre el Arduino y los actuadores, permitiendo:

-  **Control direccional:** Maneja el giro de los motores (adelante/atrás) para el movimiento del robot.
-  **Protección eléctrica:** Evita daños al Arduino por picos de corriente de los motores.
-  **Alimentación externa:** Permite conectar una fuente de poder independiente para los motores, liberando la carga del Arduino.

Su integración simplifica el cableado y garantiza un funcionamiento estable, esencial para la autonomía del sistema.

La alimentación se divide en dos circuitos:

-  **Batería de 9V:** Para el Arduino y sensores (bajo consumo).
-  **Fuente de poder de 9V:** En configuración serie/paralelo para los motores y bomba (mayor corriente).

Los interruptores garantizan un control manual seguro, y los cables de conexión se organizan para minimizar interferencias. Esta integración asegura un equilibrio entre funcionalidad, durabilidad y eficiencia energética.

Circuito Electrónico Diseñado En TinkerCAD:

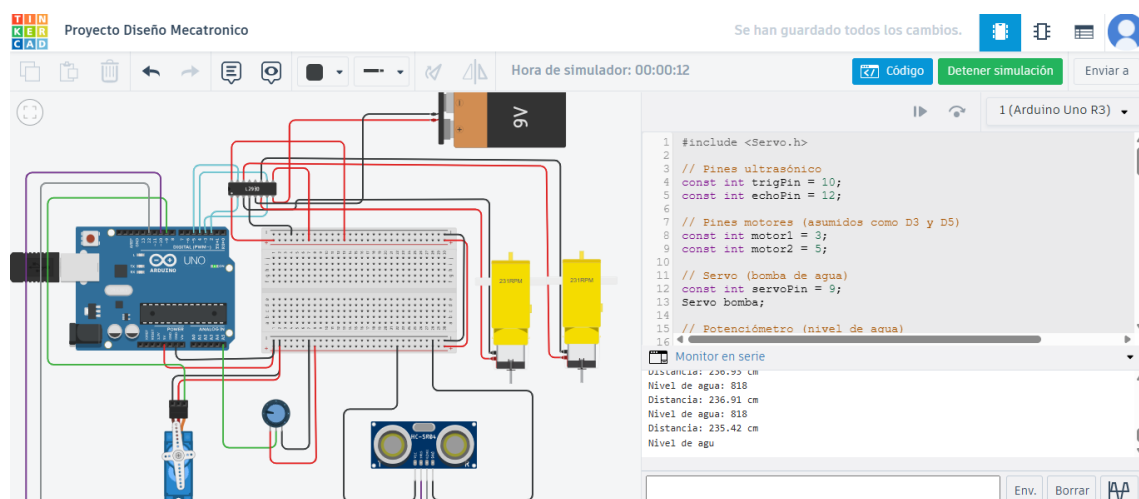
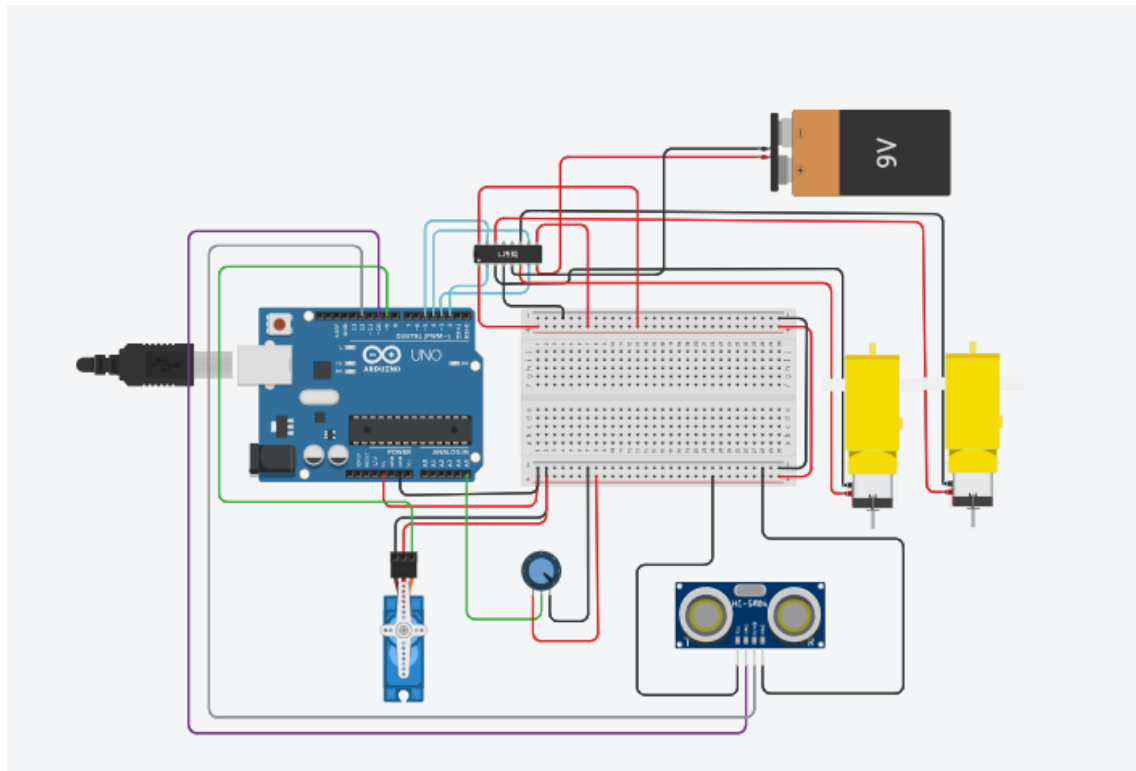
Desde la semana pasada, ya habíamos logrado ensamblar el Arduino, el Shield, la bomba de agua, las fuentes externas y los interruptores, y nos aseguramos de que todo funcionara correctamente, pero esta semana tuvimos un nuevo reto al intentar integrar los 2 nuevos sensores, el ultrasónico HC-SR04 y el sensor de nivel de agua tipo YL-83. Entonces como ingeniero electrónico en este proyecto, me tocó simular y diseñar las conexiones de lo cual me apoyé en el simulador de TinkerCAD para hacer todas las conexiones, el circuito y el esquema electrónico. Me encargué de realizar la simulación para asegurarnos de que no tuviéramos problemas de integración entre componentes al momento de llevar a cabo el montaje físico.

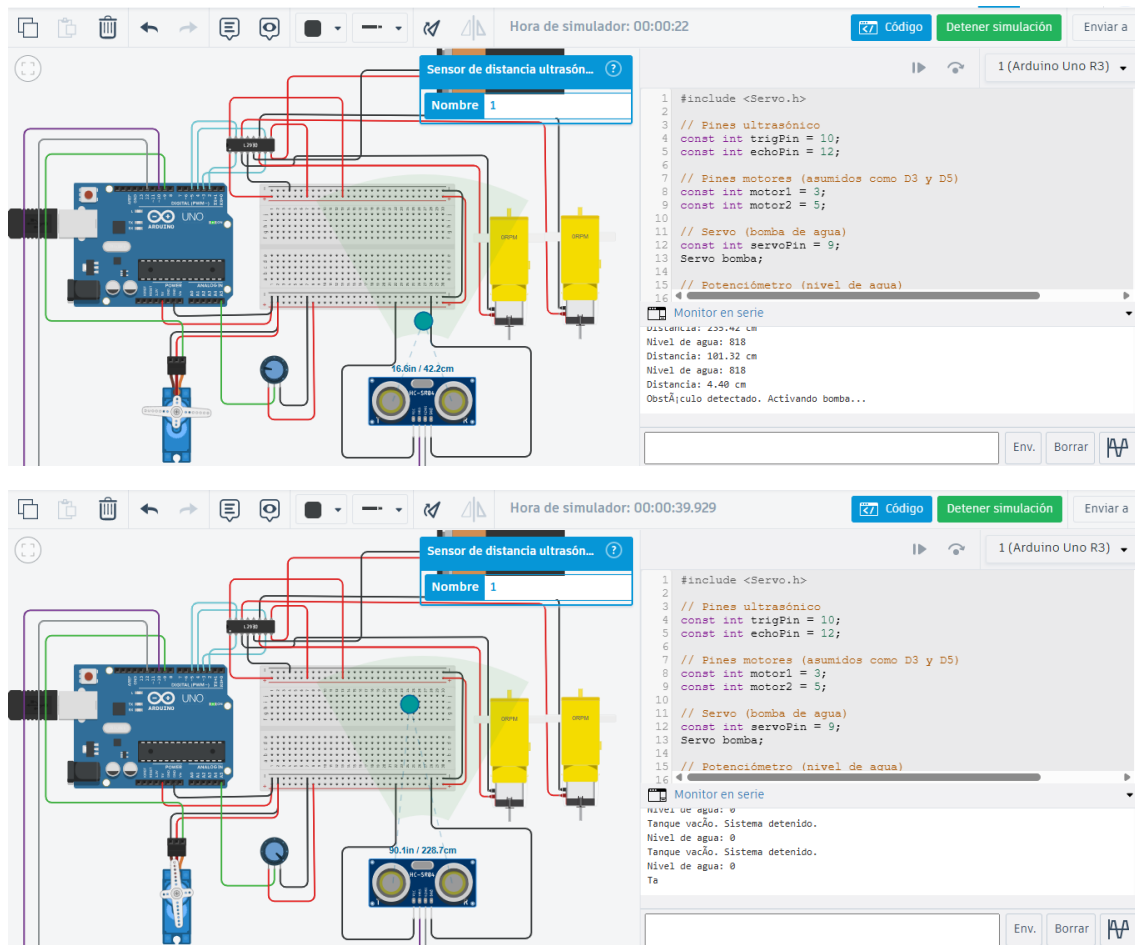
Este proyecto simula un carrito regador de plantas automatizado utilizando Arduino UNO. El sistema cuenta con dos motores que permiten el desplazamiento del carrito hacia adelante, un sensor ultrasónico HC-SR04 que detecta obstáculos al frente (como una maceta), un servo que representa una bomba de agua para regar, y un potenciómetro que simula el nivel del agua en el tanque. El sensor ultrasónico está conectado a los pines digitales D10 (TRIG) y D12 (ECHO), el potenciómetro al pin analógico A5, el servo al pin D9, y los motores a los pines D3 y D5. Una fuente externa de 9V alimenta los motores a través de un regulador 7805 que también estabiliza la alimentación del circuito.

El código implementado en Arduino lee continuamente la distancia del sensor ultrasónico y el nivel de agua. Si el nivel de agua (simulado por la posición del potenciómetro) es adecuado, el carrito avanza. Cuando el sensor ultrasónico detecta un objeto a menos de 20 cm, el carrito se detiene y el servo se activa durante 10 segundos simulando el riego de la planta. Si el nivel del agua cae por debajo de un umbral determinado (lectura analógica < 100), el sistema se detiene por completo para evitar que la bomba funcione sin agua. Este comportamiento inteligente hace que el sistema sea autónomo, seguro y eficiente para regar plantas solo cuando sea necesario y mientras tenga recursos.

Cabe resaltar que este diagrama y circuito creado en TinkerCAD es solamente una ilustración representativa de lo que se pretende lograr, ya que no hay ningún simulador que tenga todos los componentes que usaremos en el proyecto real, por ejemplo, en vez de un L293D usaríamos la versión SHIELD que nos permite controlar hasta 4 motores a la vez e incluso la bomba de agua y no vamos a usar un servomotor sino una mini bomba

de agua real, también usaríamos en vez de un potenciómetro un sensor de agua que si mida el nivel de agua en el tanque, el ultrasónico si sería el mismo. Pero esta ilustración y el proyecto real que pretendemos montar tendrían exactamente la misma función de hacer que el carrito avance y cuando detecta una planta se detenga, active la bomba de agua durante unos 8-10 segundos y luego siga su curso buscando más plantas y cuando el sensor de agua detecte que no le queda más agua el tanque entonces que detenga todas las funciones.





Codigo De Programación:

```
#include <Servo.h>
```

```
// Pines ultrasónico
const int trigPin = 10;
const int echoPin = 12;
```

```
// Pines motores (asumidos como D3 y D5)
const int motor1 = 3;
const int motor2 = 5;
```

```
// Servo (bomba de agua)
const int servoPin = 9;
Servo bomba;
```

```
// Potenciómetro (nivel de agua)
const int nivelAguaPin = A5;
```

```
// Umbrales
const int distanciaDeteccion = 20; // cm
const int umbralAguaMinima = 100; // lectura analógica mínima para tener "agua"

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);

  pinMode(motor1, OUTPUT);
  pinMode(motor2, OUTPUT);

  bomba.attach(servoPin);
  bomba.write(0); // Bomba apagada
}

void loop() {
  // Leer nivel de agua
  int nivelAgua = analogRead(nivelAguaPin);
  Serial.print("Nivel de agua: ");
  Serial.println(nivelAgua);

  // Si no hay agua, detener todo
  if (nivelAgua < umbralAguaMinima) {
    detenerMotores();
    Serial.println("Tanque vacío. Sistema detenido.");
    return;
  }

  // Medir distancia
  long duracion = medirDistancia();
  float distancia = duracion * 0.034 / 2;
  Serial.print("Distancia: ");
  Serial.print(distancia);
  Serial.println(" cm");

  if (distancia < distanciaDeteccion) {
    // Detener motores
    detenerMotores();
    Serial.println("Obstáculo detectado. Activando bomba...");
    // Activar bomba por 10 segundos
    bomba.write(90); // Posición activa del servo
    delay(10000);
    bomba.write(0); // Detener bomba
  } else {
```

```
// Seguir avanzando
avanzarMotores();
bomba.write(0); // Asegurar que bomba esté apagada
}

delay(200);
}

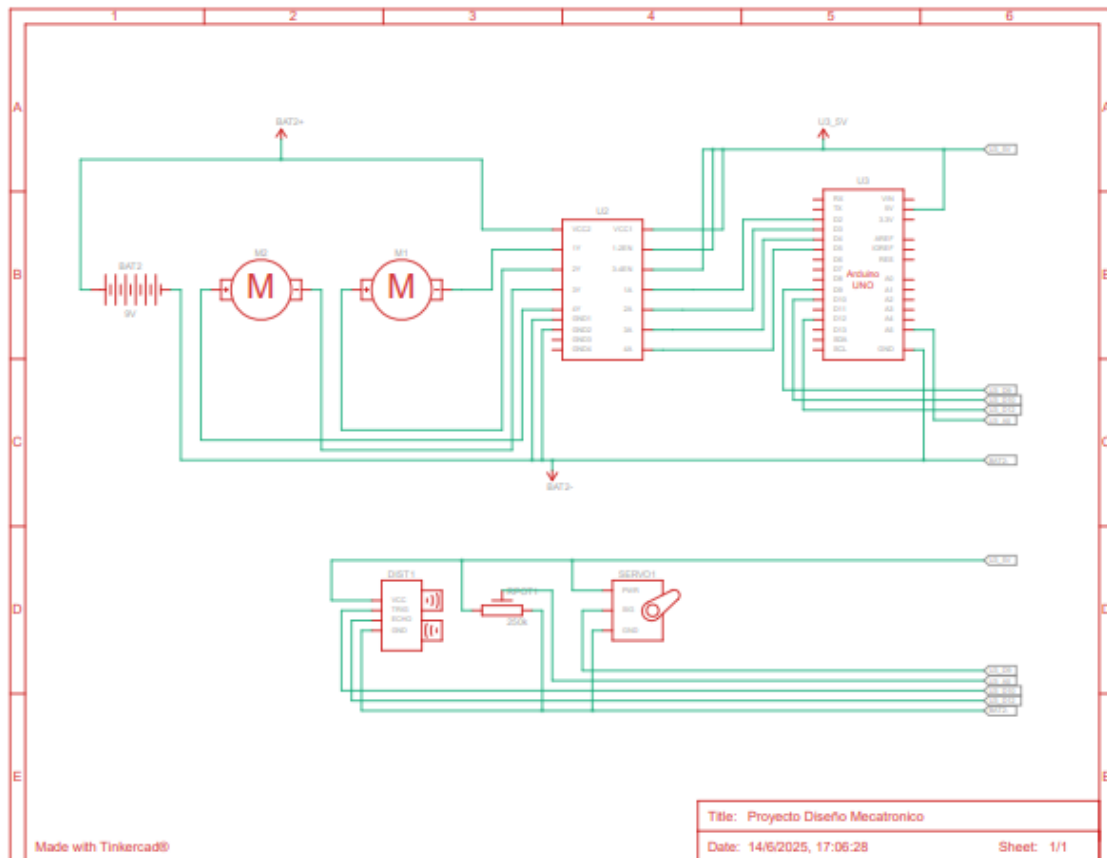
void avanzarMotores() {
  digitalWrite(motor1, HIGH);
  digitalWrite(motor2, HIGH);
}

void detenerMotores() {
  digitalWrite(motor1, LOW);
  digitalWrite(motor2, LOW);
}

long medirDistancia() {
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  return pulseIn(echoPin, HIGH);}
}
```

El código usado en la simulación (no es el código usado en el proyecto real, debido a la diferencia de componentes).

Diagrama Electrónico Esquemático:



Link De La Simulación En TinkerCAD:

<https://www.tinkercad.com/things/hhQo0HQPu9J-proyecto-diseno-mecatronico/editel?returnTo=https%3A%2F%2Fwww.tinkercad.com%2Fdashboard%2Fdesigns%2Fcircuits&sharecode=xv51XczGxqgwvfdrp36tQOaeG1pt8qXxHHE2dPeWGKw>

5. Control & Software Embebido:

El control del sistema automatizado de riego fue desarrollado mediante la implementación de software embebido, utilizando como plataforma principal el entorno de desarrollo integrado Arduino IDE, ampliamente reconocido por su accesibilidad, versatilidad y compatibilidad con una amplia gama de sensores y actuadores. Este entorno permitió desarrollar, depurar y cargar el código directamente al microcontrolador, permitiendo un control eficiente del hardware en tiempo real.

El microcontrolador seleccionado para este proyecto fue el Arduino UNO, una placa basada en el chip ATmega328P, ideal para proyectos de automatización por su bajo consumo energético, múltiples entradas y salidas digitales y analógicas, y su estabilidad en la ejecución de rutinas en tiempo real. Su arquitectura abierta y extensa documentación facilitaron la implementación del firmware y su integración con los distintos módulos del sistema.

El firmware del sistema fue cuidadosamente estructurado en bloques funcionales o módulos independientes, con el objetivo de mantener un código limpio, organizado y fácilmente escalable. Esta estructura modular permitió dividir el comportamiento del sistema en diferentes responsabilidades, facilitando tanto la programación como el mantenimiento y futuras mejoras.

Dentro de las funcionalidades más relevantes programadas se encuentran:

- ✚ **Lectura de datos del sensor de humedad:** se implementó una rutina de muestreo periódico que lee los valores analógicos provenientes del sensor de humedad. Estos datos son utilizados para determinar si el suelo se encuentra seco o en condiciones óptimas. Se aplicaron filtros simples para evitar lecturas erráticas debido al ruido eléctrico o a pequeñas variaciones ambientales.
- ✚ **Activación de la bomba de agua:** cuando el nivel de humedad detectado cae por debajo de un umbral predefinido, el sistema activa automáticamente la bomba de agua sumergible. La duración de riego está temporizada para evitar el uso excesivo del recurso, y se asegura que la bomba no funcione en vacío ni durante el desplazamiento del sistema.
- ✚ **Control de los motores para navegación autónoma:** mediante el uso de un algoritmo de movimiento básico, el sistema puede desplazarse por el entorno en busca de zonas secas que requieran riego. Cada motor es controlado por señales

PWM generadas desde el Arduino, permitiendo variar la velocidad y la dirección del movimiento según las necesidades.

- ✚ **Lógica para evitar obstáculos (si aplica):** si se incorpora un sensor ultrasónico o de proximidad, el sistema puede detectar obstáculos en su trayectoria y ejecutar maniobras evasivas, como detenerse, retroceder o cambiar de dirección, evitando colisiones que puedan dañar los componentes del sistema.

Además de la implementación funcional de las rutinas de control, el código fue sometido a un riguroso proceso de validación mediante pruebas unitarias y de integración, con el fin de garantizar su correcto desempeño tanto a nivel de cada módulo individual como en el comportamiento global del sistema. Estas pruebas fueron fundamentales para detectar posibles errores lógicos, interferencias entre bloques de código y asegurar una respuesta adecuada del sistema bajo diferentes escenarios de operación.

En la etapa de pruebas unitarias, cada bloque de funcionalidad —tales como la lectura de sensores de humedad, el control de activación de la bomba de agua, la lógica de movimiento autónomo y la evasión de obstáculos— fue evaluado de manera aislada. Esto permitió verificar que cada componente cumplía con su función específica, respondiendo correctamente a las entradas previstas y generando salidas acordes con el comportamiento deseado.

Posteriormente, se realizaron pruebas de integración, en las cuales se combinaron progresivamente los distintos módulos para analizar su interacción e identificar posibles conflictos o redundancias en la lógica del sistema. Este enfoque permitió depurar errores de sincronización, interferencias entre sensores y rutinas, así como optimizar la priorización de tareas, asegurando una operación fluida y sin bloqueos.

Gracias a este enfoque sistemático de pruebas y optimización, el Asistente de Riego Automatizado logró alcanzar un alto nivel de fiabilidad, eficiencia y robustez en su lógica de control, sentando una base sólida para futuras versiones que podrían incluir funcionalidades más avanzadas, como comunicación remota, recolección de datos históricos o análisis predictivo mediante inteligencia artificial.




6. Plan De Ensamblaje Multidominio:

El proceso de ensamblaje del Asistente de Riego Automatizado se llevó a cabo siguiendo un enfoque multidisciplinario bien estructurado, en el que se integraron de manera coordinada los conocimientos y habilidades de las áreas de diseño mecánico, ingeniería electrónica, control y programación. Esta colaboración permitió abordar el ensamblaje no solo desde la perspectiva física, sino también desde la operatividad del sistema en su conjunto.

La secuencia de montaje fue organizada de forma lógica y progresiva, asegurando una instalación eficiente, segura y funcional. Se inició con la integración de los elementos mecánicos como el chasis, motores y ruedas, seguido de la fijación de la electrónica, incluyendo el Arduino, los sensores y la bomba de agua. Finalmente, se realizaron las conexiones eléctricas y se verificó cuidadosamente la polaridad y el aislamiento de los cables, previniendo riesgos de cortocircuito o mal funcionamiento.

Gracias a esta planificación, cada componente del sistema pudo ser probado en su contexto correspondiente, lo cual facilitó la puesta en marcha y validación operativa del asistente una vez finalizado el ensamblaje.

Las etapas del ensamblaje fueron las siguientes:

-  **Montaje mecánico:** Esta primera fase consistió en ensamblar la estructura física del dispositivo. Se instalaron y fijaron las ruedas a los motores eléctricos, los cuales a su vez fueron colocados en el chasis principal previamente diseñado en SolidWorks y fabricado con los materiales elegidos. Se integraron también los soportes estructurales para los demás componentes, prestando atención a la alineación, la estabilidad y la distribución de peso, con el objetivo de garantizar un funcionamiento óptimo y seguro durante la marcha.
-  **Instalación electrónica:** Una vez completado el montaje mecánico, se procedió a la colocación de los elementos electrónicos. Se instaló la placa Arduino UNO, la bomba de agua sumergible, y los sensores de humedad del suelo en los soportes respectivos. La ubicación de cada componente fue pensada estratégicamente para evitar interferencias entre sí, facilitar el acceso en caso de mantenimiento, y minimizar el recorrido de los cables.
-  **Conexión de cables y alimentación:** En esta etapa se realizó el cableado del sistema, conectando correctamente los sensores, actuadores, bomba y motores a la placa Arduino. Se verificó cuidadosamente la polaridad, el tipo de conexión (digital o analógica), y se tomaron medidas para evitar posibles cortocircuitos, como el uso de aislantes, terminales adecuados y una gestión organizada del cableado. También se incorporó el sistema de alimentación, ya sea mediante

baterías o una fuente externa, asegurando que la corriente y el voltaje fueran compatibles con los componentes del sistema.

✚ **Pruebas integradas:** Finalmente, se realizaron una serie de pruebas de integración con todos los sistemas ya conectados. Se validó el funcionamiento autónomo del asistente, comprobando que:

- Los motores respondieran correctamente a las instrucciones de movimiento.
- La bomba de agua se activará al detectar baja humedad en el suelo.
- Los sensores ofrecieran lecturas estables y precisas.
- No existieran interferencias entre componentes, ni fallas de alimentación o respuesta.

Durante todo el proceso, los cuatro roles definidos dentro del equipo fueron ejercidos de forma activa y coordinada:

- ✚ El ingeniero mecánico se encargó del diseño, ajuste y ensamblaje estructural del prototipo.
- ✚ El ingeniero electrónico realizó la instalación y verificación de todos los componentes eléctricos y electrónicos.
- ✚ El ingeniero de control supervisó el comportamiento autónomo y la lógica de funcionamiento del sistema.
- ✚ El ingeniero informático implementó y ajustó el código embebido, así como las pruebas funcionales de software.

La correcta ejecución de cada una de las etapas planificadas, junto con una colaboración interdisciplinaria sólida y bien coordinada, fueron factores clave que permitieron llevar a cabo un desarrollo fluido, estructurado y eficiente del proyecto. Desde el diseño inicial hasta las pruebas finales, cada integrante del equipo aportó desde su especialidad —ya sea en el ámbito mecánico, electrónico, de control o informático—, permitiendo una sinergia efectiva entre conocimientos teóricos y habilidades prácticas.

Este enfoque colaborativo favoreció no solo la identificación temprana de posibles problemas, sino también la implementación de soluciones ágiles y adecuadas en cada fase del desarrollo. La comunicación constante y la división de tareas por áreas de experticia aseguraron que los procesos de diseño, ensamblaje, programación y validación se ejecutaran sincrónicamente, cumpliendo con los plazos establecidos y respetando los criterios técnicos definidos desde el inicio del proyecto.

Gracias a esta integración efectiva de disciplinas, se logró consolidar un sistema automatizado completamente funcional, capaz de operar de forma autónoma en entornos reales. El asistente de riego no solo cumple con las funciones básicas previstas como detectar niveles de humedad, desplazarse, regar de forma inteligente y evitar

obstáculos, sino que también demuestra estabilidad operativa, precisión en la toma de decisiones y eficiencia en el consumo de recursos.

Además, el sistema fue diseñado con una arquitectura modular y escalable, lo cual permite futuras actualizaciones o mejoras sin necesidad de rediseñar completamente la plataforma. Este nivel de adaptabilidad es una muestra del enfoque profesional y visionario adoptado por el equipo durante todo el proceso.

En conjunto, este proyecto representa una implementación exitosa de conocimientos multidisciplinarios aplicados a una solución tecnológica real, destacando la importancia del trabajo en equipo, la planificación estratégica y la ejecución meticulosa. Así, se demuestra que con una metodología adecuada y un compromiso compartido, es posible transformar ideas en prototipos funcionales con impacto potencial en el ámbito agrícola, ambiental y doméstico.

7. Validaciones Múltiples según VDI 2206:

Siguiendo el modelo en V modificado de VDI 2206, se definieron validaciones en cada nivel:

El proceso del Asistente de Riego Automatizado:

Validación mecánica: Se verificó el ensamblaje de las estructuras físicas, soportes, del chasis se verificó el correcto movimiento giratorio de las llantas controladas por el shield L293 D y sistemas de conducción de agua cuando la bomba empieza a succionar el agua. Se comprobaron la estabilidad de la estructura, el sellado de conexiones de cada eje de sus cuatro lados y la resistencia de los materiales utilizados frente a las condiciones ambientales y las condiciones del terreno de operación, con el objetivo de garantizar un funcionamiento óptimo y seguro durante la marcha.

Validación electrónica: Se evaluó el funcionamiento correcto de los sensores ultrasónico sensor HC-SR04 y nivel de agua donde se almacenará, así como la respuesta de los actuadores (bomba, y los 4 motores de cada uno de los ejes). Se realizaron pruebas de conexión, continuidad, alimentación eléctrica y comunicación de los dispositivos electrónicos como por ejemplo (Placa de Arduino, Shield L293 D- la bomba etc).

Validación informática: Se verificó el código fuente del funcionamiento del microcontrolador (Arduino), incluyendo la lectura del sensor HC-SR04 y nivel de agua donde se almacenará, el procesamiento de datos, la lógica de decisiones y la activación de la bomba. Además, se comprobó la comunicación entre el sistema físico entre el Arduino, y sus demás componentes.

Validación de control: Se verificó el cumplimiento y funcionamiento de las estrategias de control automático y manual, asegurando que el sistema responde adecuadamente a los distintos escenarios de operación, como variaciones del terreno físico y ambiental, y los fallos de sensores o cambios de programación. Se ajustaron los parámetros de control (por ejemplo, el algoritmo PID) para lograr una operación estable y eficiente. NF1 aborda la robustez del diseño, validado mediante simulaciones en SolidWorks y ANSYS. NF2 se enfoca en la eficiencia energética, actualmente en optimización para prolongar la autonomía con baterías de 9V y 1.5V.

8. Consideraciones Adicionales:

Seguridad: Los elementos mecánicos móviles fueron protegidos con carcasas para evitar accidentes durante el mantenimiento o la operación. Además, se integraron protocolos de parada de emergencia en caso de detección de fallos críticos en el sistema.

Sostenibilidad: El diseño priorizó el uso eficiente de recursos hídricos mediante la dosificación automática según el nivel de humedad del suelo, reduciendo el consumo innecesario de agua. Se seleccionaron componentes electrónicos de bajo consumo energético y materiales reciclables en la fabricación de la estructura.

Autonomía: Se logró consolidar un sistema automatizado completamente funcional, capaz de operar de forma autónoma en entornos reales. El asistente de riego no solo cumple con las funciones básicas previstas como detectar niveles de humedad, desplazarse, regar de forma inteligente y evitar obstáculos, sino que también demuestra estabilidad operativa, precisión en la toma de decisiones y eficiencia en el consumo de recursos.

Documentación para réplica: Se proporciona un manual técnico detallado que incluye: los planos CAD, de cada uno de los procedimientos de ensamblaje, así como también diagramas eléctricos, planos mecánicos, listado de materiales (BOM), esquemas de conexión de sensores y actuadores, código fuente documentado del microcontrolador, y procedimientos de prueba. Esta documentación permite la reproducción exacta del sistema para futuras implementaciones, escalabilidad o transferencia tecnológica.

9. Conclusiones & Sigüientes Pasos:

Conclusiones:

- ✚ Nuestro proyecto describe el desarrollo del Asistente de Riego Automatizado, bajo el enfoque del modelo en V modificado de VDI 2206, permitió validar de forma sistemática cada subsistema involucrado (mecánico, electrónico, informático y de control), garantizando su integración funcional.
- ✚ El sistema demostró capacidad para optimizar el consumo de agua, operar de manera autónoma según las condiciones ambientales. Las pruebas realizadas confirman la estabilidad operativa, la seguridad del usuario y la viabilidad de replicación. Además, se constató que el diseño modular facilita el mantenimiento, escalabilidad y futuras mejoras.

Sigüientes pasos:

- ✚ Optimización del algoritmo de control: Afinar los parámetros de control (por ejemplo, ajuste fino de PID o incorporación de lógica predictiva basada en clima) para maximizar la eficiencia del riego.
- ✚ Integración de energías renovables: Incorporar fuentes alternativas como paneles solares para una mayor autonomía energética.
- ✚ Ampliación de sensores: Incluir sensores adicionales (temperatura ambiental, radiación solar, viento) para enriquecer la toma de decisiones.
- ✚ Validación a largo plazo: Realizar pruebas extendidas en escenarios reales durante varias temporadas agrícolas para validar la robustez y eficiencia del sistema.

10. Referencias Bibliográficas:

<https://novagric.com/sistemas-de-riego/carros-de-riego-para-semilleros/>

<https://www.insst.es/documents/94886/96076/mentenimiento+consecuencias/dce81c62-e95b-4f64-9130-c3703c70d911>. (s.f.).

<https://www.insst.es/documents/94886/96076/mentenimiento+consecuencias/dce81c62-e95b-4f64-9130-c3703c70d911>.

<https://www.uc3m.es/prevencion/riesgos-mecanicos>

11. Anexos:

