



STATEMENT OF WORK (SOW)

CONDRON

Fecha de entrega: 3 de Abril, 2025



Índice

1 Propósito	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Estado del arte	1
1.3 Solución propuesta	2
2 Alcance	3
2.1 Objetivos	3
2.2 Requisitos	3
2.3 Descripción de Subsistemas	5
2.4 WBS	6
3 Periodo y planificación	7
3.1 Periodo de trabajo	7
3.2 Calendario entregable	7
3.3 Diagrama de Gant	7
3.4 Análisis de Riesgos	8
4 Criterios de aceptación	9
4.1 Matriz de verificación	9
4.2 Plan de pruebas	9
5 Material y presupuesto	12
5.1 Material necesario	12
5.2 Presupuesto	13
6 Referencias	15



1 Propósito

1.1 Descripción del problema

Son conocidos los grandes problemas que sufre la agricultura local y particular a nivel nacional debido a la concentración de la industria agrícola en mega explotaciones y su proliferación a lo largo de los años, impidiendo así que este tipo de iniciativas pierdan reconocimiento y valor. Así lo expone un artículo redactado por Greenpeace España a finales de 2024 [1], que analiza esta problemática a nivel europeo destacando las últimas manifestaciones de los pequeños y medianos agricultores.

A pesar de ello, no es únicamente la desigualdad económica en términos de ayudas y subvenciones a grandes explotaciones agrícolas, sino también los cambios de tendencia en la vida rural y el progresivo envejecimiento y despoblación de las áreas menos urbanizadas como lo pone en valor la Cadena Ser en las provincias más afectadas [2].

Viendo el vertiginoso crecimiento de la tecnología en los últimos años e imparable debido a su uso e implementación en todos los ámbitos, puede parecer que el problema sea irresoluble y terminen por desaparecer estos proyectos como muchos otros oficios a lo largo de la era tecnológica.

1.2 Estado del arte

En los últimos años, se ha fusionado tecnología y agricultura para mejorar la eficiencia en cultivos, estudiar comportamientos a largo plazo y prever el futuro. La Unión Europea impulsa la digitalización agrícola [3], pero estas políticas pueden parecer alejadas de esta realidad.

Aún así hay muchos proyectos abiertos y finalizados que se centran en pequeños dispositivos y soluciones accesibles a cualquier persona que incitan a la mejora de estos pequeños cultivos. Por ejemplo, la UPA (Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos de Andalucía) desarrolló un kit digital que consta en unas subvenciones del programa de ayudas del gobierno para comprar portátiles, sistemas de monitoreo o sistemas de optimización de agua y fertilizantes [4].

Estas iniciativas dan vida a estos proyectos familiares que buscan no desaparecer y atraer la atención de jóvenes interesados en la tecnología. Hay otros proyectos como Smart Green Water que entre algunos de sus retos en curso se investiga acerca de nuevos sistemas de irrigación inteligentes para la gestión de sequías [?]. Este se inició en 2024 y tiene como fecha de finalización 2027 por lo que se trata de un problema actual con recorrido a lo largo del tiempo.



1.3 Solución propuesta

Tras los proyectos en curso observados y alineado con los problemas agrónomos expuestos se propone la creación de un UAV, pequeño y económico que incluya sensores de diversos parámetros así como de humedad, de luz o de temperatura. Se buscará agilizar las labores diarias de estos trabajadores, abaratar los costes de sensores independientes a la intemperie con una menor vida útil, realizar un acopio de datos a lo largo del tiempo para el estudio del comportamiento del cultivo, facilitar el control de extensos terrenos y principalmente fomentar la digitalización de este gremio junto a la atracción de jóvenes para que continúen con esta labor.



2 Alcance

2.1 Objetivos

Se podría definir el objetivo principal como la creación de un dispositivo capaz de captar datos del entorno en el que se desempeña su función, en este caso del sector agrícola, para conocer el estado del terreno y cultivos. Para ello, se estiman algunos objetivos menores dentro de nuestro objetivo principal que, cumpliéndolos y agrupándolos, conseguirán implementar la solución al problema abordado.

Como primer objetivo, esencial para el funcionamiento de nuestro proyecto, es el correcto funcionamiento del sistema de vuelo del dron propuesto como útil para esta labor. Para ello, se estudiará el uso de un kit de 4 motores DC, diseñando un cuadricóptero a partir de estos, junto con su estructura diseñada de manera propia, buscando el diseño más adecuado posible.

Por otro lado, el correcto control del sistema de vuelo. Este debe ser lo suficientemente preciso y sensible como para que el manejo del dron responda correctamente a las premisas del usuario que lo maneja. Esto se debe a que puede ser necesaria la estabilización del dron en ciertos momentos para la recogida de datos y ser relativamente sencillo de conducir.

Otro objetivo será la implementación de sensores útiles que puedan generar datos suficientes para que el usuario posteriormente pueda interpretarlos, según la época del año, tipo de cultivo y requerimientos del terreno. Además, incluir una cámara digital para drones y así reconocer por imágenes el estado de la cosecha y del entorno.

Con todo esto, se pretende que se cubran todas las necesidades planteadas y que se cumpla la solución propuesta para este problema.

2.2 Requisitos

Se definirán los requisitos funcionales, de prestaciones, de diseño y de operación en un listado según la norma, definiéndose respectivamente como F, P, D y O.

Funcionales (F)

- **F.1:** El dispositivo debe alzar el vuelo.
- **F.2:** El dispositivo debe controlarse a partir de radio control.
- **F.3:** El dispositivo debería medir de manera controlada datos de humedad, temperatura y luminosidad.
- **F.4:** La batería deberá tener una vida útil de X minutos.



Prestacionales (P)

- **P.1.1:** El dispositivo debe moverse en las 3 direcciones que dicta un sistema de ejes cartesianos.
- **P.2.1:** El dispositivo debe poder controlarse hasta 2 kilómetros de distancia.
- **P.3.1:** Las mediciones de temperatura deberían tener un rango entre 0 y 50 °C, con una precisión de ± 2.0 °C.
- **P.3.2:** Las mediciones de humedad deberían tener un rango de 20 % a 90 % RH con una precisión de 4 % RH.
- **P.3.3:** Las mediciones de luz deberían tener un rango de 190 a 1100 nm.
- **P.4.1:** La batería debe ser reemplazable manualmente.

Diseño (D)

- **D.1:** El dispositivo debe tener unas medidas de 20x20x5 cm, sin contar las aspas usadas para el vuelo.
- **D.2:** El dispositivo debe tener un peso máximo de 1 kg.
- **D.3:** El dispositivo debe tener un LED indicador del estado de pilotaje.

Operacionales (O)

- **O.4.1:** El dispositivo deberá poder ser controlado por un mando de radio control.
- **O.4.2:** La batería deberá poder ser recargable y reemplazable por el usuario.
- **O.3:** Los datos recibidos deberán ser recogidos por el usuario a través de una memoria externa.

Por otro lado tenemos:

Restricciones (C)

- **C.1:** El presupuesto máximo es de 80 €.
- **C.2:** El prototipo debe estar probado en mayo.
- **C.3:** Deberá usarse un ESP32 para que se pueda alimentar por batería.



2.3 Descripción de Subsistemas

Para ese proyecto, el trabajo grupal se dividirá principalmente en tres secciones de investigación: electrónica, control y estructura.

Además de esto, se han diseñado funciones de tesorería y marketing, para el adecuado ritmo de las actividades, sin dejar cabos sueltos en cuanto a recopilación de procesos y capital restante disponible.

- **Electrónica:** En este subsistema, se abordará el montaje a nivel electrónico del circuito para el correcto funcionamiento de los motores del dron. Para ello se investigará sobre qué dispositivos son los óptimos para dicha función, como transistores, diodos, baterías, microcontroladores o los propios motores, que se usarán posteriormente para controlarlos de manera eficiente. Además, se programarán los sensores utilizados para la recaudación de datos, la IMU que orientará al vehículo y la señal que se proporcionará a los motores.
- **Control:** En este subsistema, se investigará sobre el controlador que servirá para el manejo del dispositivo y se desarrollarán pruebas para dar con los parámetros acertados que se utilizarán en la programación del PID utilizado. Serán los encargados de la estabilización del dron y de su sencilla conducción según las órdenes del usuario del control remoto.
- **Estructura:** En este subsistema, se plantean todos los tipos de piezas necesarias para la construcción estructural del dron. Tanto la carrocería, como las piezas de unión con las aspas, engranajes, etc. También diseñarán la infraestructura necesaria para el estudio de los parámetros del controlador.

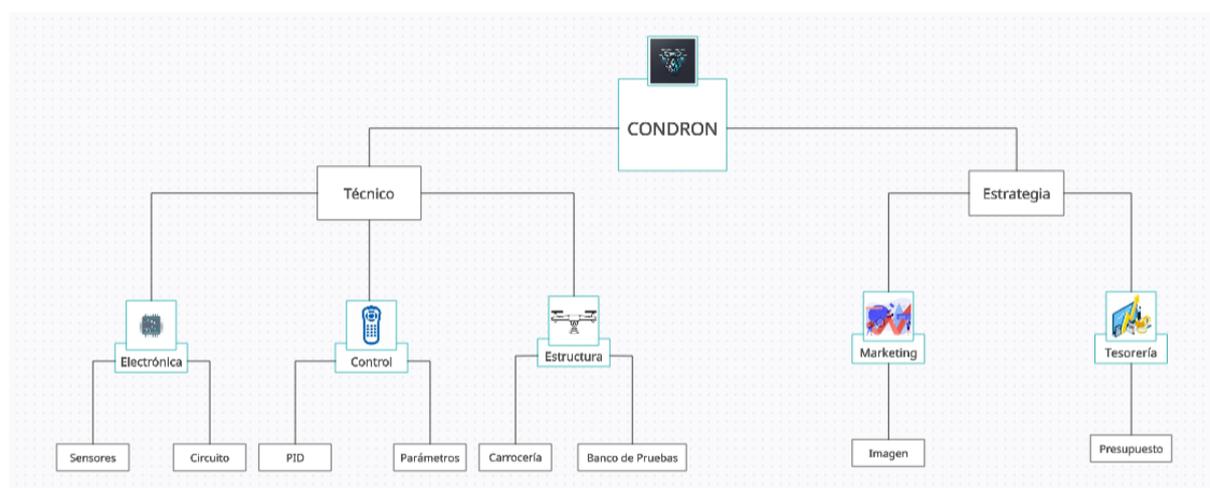


Figure 1: Esquematizado del sistema organizativo



2.4 WBS

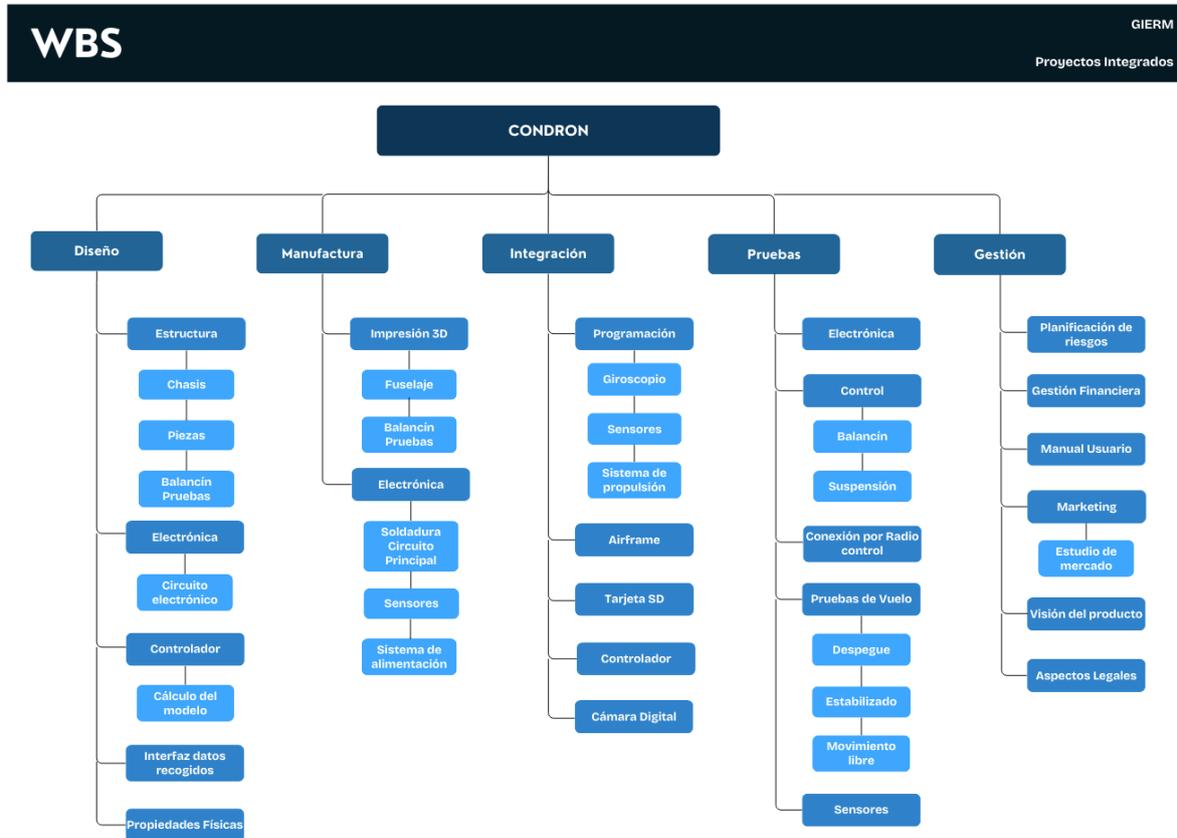


Figure 2: Representación esquemática del WBS



3 Periodo y planificación

3.1 Periodo de trabajo

Respecto al periodo de trabajo, el proyecto tiene una duración de 14 semanas, inicializando el día 20 de Febrero de 2025 y finalizando el 20 de Mayo de 2025. Sin embargo, la documentación final del proyecto puede ser entregada hasta el día 4 de Junio de 2025, día correspondiente a la 1ª Convocatoria de la asignatura.

3.2 Calendario entregable

A continuación se presenta una lista que muestra cada una de las diferentes entregas y sus fechas correspondientes:

- **Versión preliminar del SOW para revisión:** 3 de Abril.
- **Versión corregida del SOW:** por determinar.
- **Informe de progreso 1:** por determinar.
- **Demostrador del proyecto:** implementación física del proyecto, transparencias de la presentación y vídeo(s) de demostración – 20 de Mayo.
- **Documentación final:** versión final del SOW, memoria descriptiva de resultados, documentación técnica de bajo nivel, autoevaluación de buenas prácticas – 4 de Junio.

3.3 Diagrama de Gant

En este apartado introduciremos el diagrama de Gant, en el cual observaremos el desarrollo del prototipo, las pruebas y demás, organizados en el tiempo de trabajo del que disponemos.

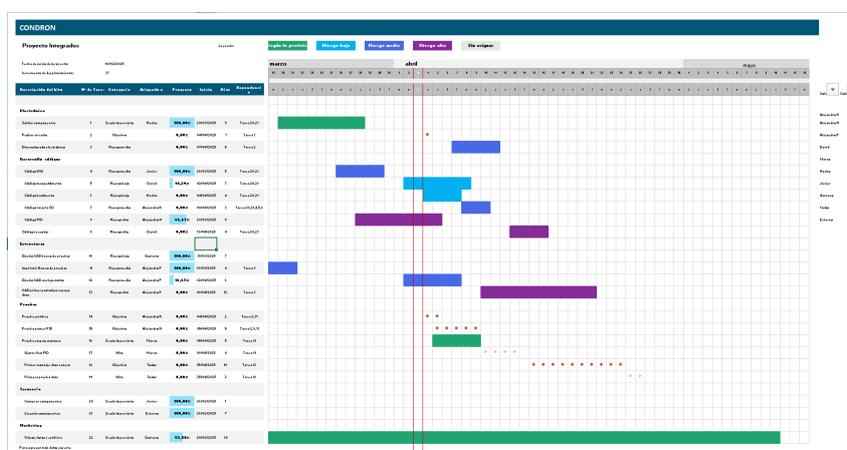


Figure 3: Diagrama de Gant



Como es muy complicado diferenciar los detalles del diagrama en este documento, dejaremos a continuación un enlace que llevará directo al cuadrante: https://drive.google.com/file/d/1VUt8HJw-opNbSr_Z-nVNlQ9Pdf_Y_JsD/view?usp=drive_link

3.4 Análisis de Riesgos

Riesgos	Probabilidad	Impacto	Solución
Componentes electrónicos adquiridos defectuosos.	Baja	Necesidad de adquirir reemplazo	Consultar referencias, valoraciones y datasheet de los productos a adquirir.
Transmisión de señales sin precisión absoluta	Baja	Comportamiento no deseado de los componentes	Realizar rutado de cableado lo más claro posible.
Transmisión/comprensión de datos deficiente.	Media	Comportamiento no deseado del control	Buscar componentes que cumplan requisitos de funcionamiento y precio.
Deformación/rotura de elementos motores (engranajes, hélices, motores).	Media	Necesidad de adquirir reemplazo	Realizar pruebas con sistemas de seguridad y habiendo comprobado con anterioridad el montaje.
Impresión 3D en estado no óptimo.	Media	Necesidad de adquirir reemplazo	Investigar propiedades necesarias.
Falta de disponibilidad para la realización de reuniones con todos los componentes del equipo presentes.	Alta	Falta de comunicación, pérdida de tiempo y necesidad de rehacer algo hecho por ello.	Reuniones rápidas y concisas para tratar temas urgentes en lugar de reuniones muy largas.
Descontrol e impacto en pruebas	Alta	Necesidad de reemplazo de partes afectadas e imposibilidad de saber causas del fallo	Realizar pruebas con sistemas de seguridad y habiendo comprobado con anterioridad el montaje.
Incompatibilidad de cumplimiento entre requisitos.	Media	Necesidad de modificación de requisitos	Plantear los requisitos teniendo en cuenta que los impuestos se tienen que cumplir antes que los decididos por el grupo.
Control utilizado impreciso para condiciones determinadas.	Media	Comportamiento no deseado del control	Tener en cuenta posibles situaciones que planteen perturbaciones.



4 Criterios de aceptación

Los criterios de aceptación son esenciales al momento de definir cuándo se considera que el proyecto del dron está finalizado y cumple con los requisitos obligatorios establecidos.

Estos criterios aseguran que el trabajo realizado es de alta calidad y satisface las expectativas del profesor.

4.1 Matriz de verificación

Requisito	Nombre Requisito	Verificación				Nombre Prueba	Estado
		I	A	D	T		
F.1.	Vuelo				X	Prueba de Vuelo	Pendiente
F.2.	Radio Control				X	Prueba de Control	Pendiente
F.3.	Recolecta de Datos	X	X			Toma de Datos	En proceso
F.4.	Vida Útil	X	X		X	Descarga	Pendiente
P.1.1.	Direccionamiento	X			X	Prueba	Pendiente
P.3.1.	Rango Temperatura	X				Medir Temperatura	OK
P.3.2.	Rango Humedad	X				Medir Humedad	OK
P.3.3.	Rango Luminosidad	X				Medir Luminosidad	OK
P.4.1.	Reemplazo Batería	X				Establecer batería	Pendiente
D.1.	Medidas	X				Toma de Medidas	Pendiente
D.2.	Peso	X				Pesaje	Pendiente
D.3.	LED			X		LED	Pendiente
O.4.1.	Manejo Radio Control			X	X	Manejo Usuario	Pendiente
O.4.2.	Recarga	X	X			Recarga de Batería	OK
O.3.	Recaudación de Datos		X	X	X	Visualización de Datos	Pendiente

Table 2: Tabla de requisitos y verificación

4.2 Plan de pruebas

A la hora de comprobar el funcionamiento del proyecto, es necesario realizar un recorrido a través de pruebas antes de llegar al modelo o diseño final del mismo.

Entre estas pruebas, hay algunas a nivel local pertenecientes a cada uno de los subsistemas para comprobar el correcto funcionamiento de partes completas funcionales y otras enfocadas en el producto final a desarrollar. A continuación se exponen los ensayos divididos en sus correspondientes subsistemas y en orden cronológico:



Electrónica

- Prueba de circuito: Una vez se ha montado el circuito en una placa de pruebas, se conecta un controlador que se posea, en este caso un Arduino Nano, para comprobar que los Mosfets, diodos y motores funcionan con una señal constante.
- PWM: Cuando el circuito ha funcionado correctamente, se programa un fichero que genere una señal PWM que varíe según un bucle para comprobar las respuestas de los motores ante este tipo de señal de control.
- IMU: Se crea una librería para pedir los datos generados por la IMU y se prueba mediante un código sencillo para comprobar que los datos que se reciben son coherentes.
- Traducción de la IMU: Al recibir los datos, es necesario crear un código que los traduzca del formato que llega al ESP32 a las unidades medidas para realizar el control de manera correcta. Se prueba introduciendo datos y validando que lo traducido se corresponde con la realidad.
- Funcionamiento Sensores: Una vez realizado el circuito que se encarga de suministrar energía a los motores, se procede al testeo de los sensores de temperatura, presión, humedad y luz, con su código correspondiente, para comprobar que los datos generados se corresponden con las condiciones de estudio.

Control

- Compilación de código: Una vez se realiza un primer código de prueba del PID es necesario que a través de un compilador se verifique la sintaxis del lenguaje del código, en este caso C++.
- Funcionamiento del código: El código lógicamente debe ser funcional, en este caso se servirá de simulaciones para comprobar que en teoría el controlador es válido.
- Ajuste fino del PID (Balancín): Debido a que se trata de un sistema real y cuyas salidas no serán idénticas es necesario ajustar los parámetros y valores del controlador mínimamente para arreglar esa descompensación. Se hará uso de un balancín para poder controlar dos motores y comprobar que en la realidad también es válido el código.

Estructura

- Ensamblaje del diseño: Para verificar medidas y tener un modelo 3D más realista, será necesario montar un ensamblaje de las piezas en conjunto dentro del propio programa.
- Prueba de impresión: tanto para los fallos que pueda cometer la impresora, como los detalles del diseño como puede ser la holgura, será necesario comprobar que las piezas encajan o se pueden mover con facilidad en una estructura completa.



Globales

- Test de la integración completa: Cuando todas las pruebas de los subsistemas se hayan realizado, se va a realizar una prueba inicial de funcionamiento completo del dron. Se colgará de una cuerda y se probará el vuelo del mismo.
- Resistencia del chasis: Durante la prueba de vuelo será necesario comprobar que el chasis impreso en 3D resiste las vibraciones de los motores.
- Prueba de los sensores en movimiento: Comprobar que los datos durante un vuelo del dron se reciben correctamente y corresponden a valores lógicos.
- Reajuste de subsistemas: Debido a los posibles fallos de la primera prueba inicial será necesario detectar el origen de los fallos y volver a estudiar los subsistemas implicados por separado y volver a probar. Puede darse varias veces este ensayo.
- Pruebas de límites: Para comprobar el tiempo de funcionamiento máximo del dron, será necesario realizar pruebas de vuelo para comprobar que las estimaciones de duración de batería eran correctas.
- Pruebas de postintegración: Si después de las pruebas se plantea insertar algunos sensores de funcionalidad extra, tales como el uso de una tarjeta SD para recopilar los datos de los sensores o el uso de una cámara, será necesario volver a hacer pruebas para comprobar el funcionamiento global.



5 Material y presupuesto

5.1 Material necesario

En este apartado trataremos una larga lista exhaustiva de materiales o recursos que son necesarios para el correcto desarrollo del prototipo. A su vez, comentaremos brevemente la importancia y uso que tienen, para mostrar claridad dividiremos estos elementos en subgrupos dependiendo de la relación que tengan unos con otros.

Estructura del Dron

A continuación se describen los materiales y componentes para la estructura del dron:

- **Fusion 360:** Aplicación de diseño con la que se modelará el prototipo.
- **Filamento de impresora (PLA):** Material de impresión para asegurar una estructura estable y sólida.
- **Impresora 3D (ENDER 3V2):** Aparato encargado de crear el diseño previamente formado.

Electrónica y Dinámica

A continuación se describen los componentes electrónicos y dinámicos del dron:

- **Placa perforada:** Servirá como base para la interconexión y circuitado de los componentes electrónicos.
- **IMU 9 ejes:** Permite estimar posición, velocidad y orientación en 3D con mayor precisión, combinando el acelerómetro, giroscopio y magnetómetro.
- **ESP 32:** El microcontrolador programable llevará la lógica del prototipo para conseguir una exitosa comunicación de la información.
- **Motores:** Estos dispositivos conseguirán realizar el movimiento deseado de nuestro dron, haciendo mover las hélices.
- **IRLZ44N:** Amplificarán la señal PWM que alimentará a cada motor.
- **Hélices:** Se harán rotar para finalmente efectuar la fuerza necesaria para hacer volar al prototipo.
- **Pines:** Servirá como puertos de conexión entre los distintos dispositivos electrónicos.
- **Cables:** Dejarán paso a la corriente que transmitirá energía a los distintos componentes.
- **Conjunto de engranajes:** Este set logrará una correcta transmisión del movimiento entre los motores y las hélices.
- **Módulo Tarjeta SD:** Conector de la tarjeta SD.



- **Tarjeta SD:** Receptor y memoria donde se guardará la información relativa al control y movimiento del dron, así como el análisis de los datos de los distintos sensores.
- **Sensores:** Receptores encargados de convertir las señales analógicas medidas en diferentes voltajes para su correcto análisis posteriormente.
- **Soldador de punto:** Aparato encargado de fijar las conexiones físicas entre cables y dispositivos electrónicos sobre las placas.
- **Baterías:** Será la fuente de energía tanto del dron como del mando con el que realizaremos la intercomunicación.
- **Mando (TX16S):** Este aparato va parejo con el prototipo, pues con él conseguiremos realizar la comunicación y pilotaje de nuestro dron.
- **Receptor (ER5A):** Este dispositivo se usa para recibir las señales dadas por el mando.

Materiales o Recursos Varios

A continuación se describen los materiales y recursos varios para el proyecto:

- **Taller:** Este lugar guardará varios de los aparatos ya mencionados para su uso en el momento que sea necesario la construcción o montaje de alguna de las partes de nuestro prototipo.
- **Ordenadores:** Tanto como para el diseño de nuestra estructura, programación de los sistemas de comunicación o incluso para la simple búsqueda de información, entre otras cosas, será imprescindible tenerlos.

5.2 Presupuesto

El primer presupuesto corresponde al desarrollo del prototipo inicial. En este cálculo, únicamente se han considerado los materiales adquiridos específicamente para la construcción del dron, sin incluir el costo de materiales prestados o reutilizados ni las horas de trabajo de ingeniería. La intención es ajustar los costos para cumplir con el límite establecido, con una posible desviación menor al 5 %.

Item	Cantidad	Departamento	Descripción	Precio unitario	Precio Total
Placa Perforada	5	Electrónica	Placa para conexiones	0.518 €	2.59 €
IMU 9 ejes	1	Electrónica	Acelerómetro, giroscopio, magnetómetro	10.03 €	10.03 €
ESP32	1	Electrónica	Controlador a 3.3V para alimentarlo con batería	3.39 €	3.39 €



Item	Cantidad	Departamento	Descripción	Precio unitario	Precio Total
Motores	4	Electrónica	Motores de empuje con escobillas	0.6975 €	2.79 €
IRLZ44N	10	Electrónica	Mosfets de lógica 3.3V que da el ESP32	0.185 €	1.85 €
Pines	1	Electrónica	Pines para controlador a placa	1.59 €	1.59 €
Conjunto de engranajes	1	Estructura	Juego de engranajes para las aspas	1.86 €	1.86 €
Módulo Tarjeta SD	1	Electrónica			
Tarjeta SD	1	Electrónica			

Table 3: Materiales y componentes

Presupuesto final

Dado que en el futuro podrían presentarse fallos en ciertos componentes, se ha elaborado un segundo presupuesto. Este incluye los costos de producción considerando la compra de repuestos y materiales adicionales necesarios para reemplazos en caso de fallos o deterioro. Además, si el proyecto evolucionara a una producción más extensa, este presupuesto serviría como base para estimar el costo por unidad en función de una fabricación a mayor escala.

En ambos casos, se han considerado los costos reales de los materiales esenciales, asegurando que el dron pueda desarrollarse de manera eficiente dentro del presupuesto estipulado. La comparación entre ambos presupuestos permitirá determinar la viabilidad de una producción futura y la necesidad de realizar ajustes en los materiales empleados.

Item	Cantidad	Departamento	Descripción	Precio unitario	Precio Total
Placa Perforada	5	Electrónica	Placa para conexiones	2.59 €	2.59 €
IMU 9 ejes	1	Electrónica	Acelerómetro, giroscopio, magnetómetro	10.03 €	10.03 €
ESP32	1	Electrónica	Controlador a 3.3V para alimentarlo con batería	3.39 €	3.39 €
Motores	4	Electrónica	Motores de empuje con escobillas	2.79 €	2.79 €
IRLZ44N	10	Electrónica	Mosfets de lógica 3.3V que da el ESP32	1.85 €	1.85 €
Pines	1	Electrónica	Pines para controlador a placa	1.59 €	1.59 €
Conjunto de engranajes	1	Estructura	Juego de engranajes para las aspas	1.86 €	1.86 €
Módulo Tarjeta SD	1	Electrónica			
Tarjeta SD	1	Electrónica			

Table 4: Materiales y Componentes con resultado final



6 Referencias

References

- [1] Greenpeace España. (2024, Oct 02). Tractor grande se come al pequeño [Online]. Available: <https://www.greenpeace.org/tractor-grande-se-come-al-pequeno>
- [2] Celia Gabarri. (2025, Mar 18). Palencia y el mundo rural [Radio]. Available: <https://www.palenciayelmundo.com>
- [3] Comisión Europea (2024, Oct 08). Digitalización del sector agrícola europeo [Online]. Available: <https://www.comisioneuropea.com/digitalizacion-agricola>
- [4] UPA (2024). Kit Digital [Online]. Available: <https://www.upa.com/kit-digital>
- [5] Smart Green Water (2024, Ene 01) [Online]. Available: <https://www.smartgreenwater.com>