



Agricultoro

Robot Técnico Agrícola



Contenido

Statement of Work. Agricultoro.	2
1.-Introducción/ propósito.....	2
1.1.-Descripción del problema.	2
1.2.-Estado del arte.	5
1.3.-Solución propuesta.	9
2. -Alcance.....	11
2.1.-Objetivos.....	11
2.2.-Requisitos.	12
2.3.-Descripción de subsistemas.	14
2.4.-WBS.	15
3.-Periodo y planificación.	17
3.1.-Periodo de trabajo.	17
3.2.-Diagrama de Gantt.....	18
3.3.-Análisis de riesgos.	20
4.-Calendarios de entregables.....	22
5.-Criterios de aceptación.	23
5.1.-Criterios de aceptación.....	23
5.2.-Matriz de verificación.	23
5.3.-Plan de pruebas.....	25
6.-Material y presupuesto.	28
6.1.-Material necesario.	28
6.2.-Presupuesto.	30
7.-Referencias	32



Statement of Work. Agricultor.

1.-Introducción/ propósito.

1.1.-Descripción del problema.

Hoy en día, el sector agrícola se ve afectado negativamente por factores como el clima, el déficit de innovación, la gran cantidad de tiempo y gasto que se ha de invertir para el mantenimiento del cultivo y el poco personal disponible.

Las altas temperaturas y la sequía demandan la continua atención del personal en el cultivo y su regadío, lo que suele conllevar un exceso de tiempo y esfuerzo en sus horarios laborales establecidos.

Según se publicó por el [Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Democrático](#) [1] el 12 de septiembre de 2023, el territorio español está atravesando una sequía cada vez mayor. Esto lo refleja el *Informe sobre la Gestión de la Sequía en 2023*, donde nos muestra que el pasado año hidrológico 2022-2023 hubo una precipitación global del 17,1% por debajo del valor normal de referencia del periodo 1991-2020.



Ilustración 1: Embalse de La Cabezuela, con 2,3 hm³ menos con respecto a 2023.

La escasez de agua ha provocado que el 14,6% del territorio nacional se encuentre actualmente en emergencia y que el 27,4% esté en alerta. El sector agrícola es el más perjudicado por esta situación, especialmente los cultivos extensivos y de pasto. Según esta misma fuente, se prevé que la sequía nacional dé lugar a un declive de la producción de los cultivos, estimando una disminución de un 40% en el cultivo de cereales, una reducción de la producción de cebada en un 39% y de trigo blando en un 36%, además de haberse reducido un 30% el rendimiento de los cultivos de girasol y colza en comparación con la campaña de 2022.



Como se ve en estos datos, la agricultura nacional está atravesando un bache en la producción por culpa de la sequía, problema que va en aumento con el transcurso de los años. Esto, unido a las duras condiciones de trabajo, provoca que cada vez un menor número de personas decida dedicarse a este sector, dando lugar a un nuevo problema: la disminución de la mano de obra agrícola.

La escasez de mano de obra supone un gran problema, ya que se requiere invertir un mayor número de horas, causando perjuicios en la vida diaria del agricultor, como la falta de sueño y tiempo libre y deterioros de salud mental y física, impidiendo que este realice apropiadamente sus tareas cotidianas del día a día. Por otra parte, se produce una reducción de la producción frente a lo que se debería generar.

El [Instituto Nacional de Estadística](#) [2] cifra en 914.871 el número de explotaciones agrícolas en el censo agrario de 2020, lo que supone un 7,6% menos que en el censo 2009 (donde se contabilizaron 989.796). Además, en 2020 la mano de obra agrícola y el número de jefes de explotación experimentaron una disminución del 7,7% y 7,6% respectivamente con relación al censo previo. A pesar de que estos datos no sean tan dramáticos como puede parecer, se prevé que esta situación se agrave mucho más en los próximos años.

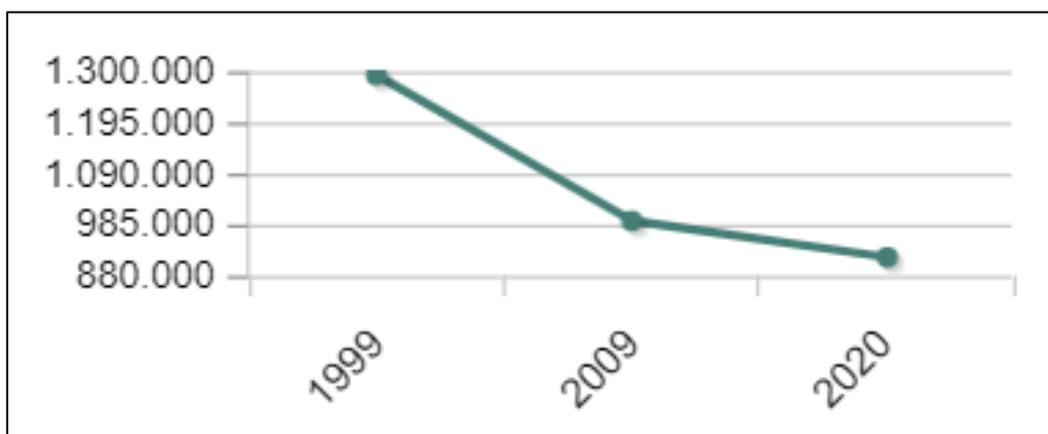


Ilustración 2: Censo de explotaciones agrarias en función del año por INE

Este futuro declive se debe sobre todo a que la edad media de los agricultores es muy elevada, ya que los jóvenes rehúsan cada vez más dedicar sus vidas a este sector. Según el [Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación](#) [3], el censo agrario de 2020 recoge que el 41% de los jefes de explotación tiene más de 65 años, mientras que la edad media de los agricultores es de 61,4 años, siendo los jóvenes menos del 15%.

Tanto la sequía como la falta de trabajadores ocasionan la poca rentabilidad que se obtiene del cultivo. Los precios de venta de los productos agrícolas se mantienen bajos, a pesar de los altos costos de producción, lo que genera dificultades para que los agricultores obtengan beneficios y sostengan sus operaciones. Además, la competencia de otros países con costos de producción más bajos que España agrava aún más esta situación.

Otro aspecto a tener en cuenta es el deterioro físico de los jornaleros por el uso de productos químicos, las cargas excesivas durante su jornada laboral o la dura actividad agraria, lo que desencadena que sean más propensos a tener enfermedades musculares y óseas, enfermedades respiratorias y enfermedades de la piel entre otras. El [Instituto](#)



[Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo](#) [4] muestra el número y tasa de incidencia de enfermedades profesionales en agricultura en España en 2006 por 100.000 trabajadores.

Enfermedades	Número de casos	Tasa de incidencia
Infecciosas	10	2,2
Neurológicas	68	15,1
Órganos de los sentidos	5	1,1
Respiratorias	7	1,6
Cutáneas	62	13,8
Osteomusculares	340	75,5
Total	492	109,3

Con relación al cultivo, las continuas plagas que se extienden, unidas a la tardanza en la actuación por parte de un personal insuficiente, pueden llevar a la pérdida total del cultivo, lo que conlleva un desperdicio del tiempo y que no se obtengan los beneficios esperados.

Además, la agricultura es un campo que en la actualidad no goza de gran modernización, lo que impide el aumento de la productividad y sostenibilidad de los cultivos. Solventar esto se ha convertido en una necesidad para la [Comisión Europea](#) [5], pues el aumento de la población global y de la esperanza de vida han llevado a un incremento de la demanda alimenticia, requiriendo un aumento de la producción. Además, desafíos como el calentamiento global, la degradación ambiental o los recursos finitos demandan la innovación y sostenibilidad de los cultivos.

Como se intuye, es difícil encontrar una solución a toda esta problemática, debido a la alta cantidad de factores que no se pueden controlar. Sin embargo, la tecnología abre un gran camino a la mejora de este sector, con el objetivo de apaciguar los distintos contratiempos.



1.2.-Estado del arte.

El sector agrícola mundial se enfrenta a una multitud de desafíos, desde el cambio climático hasta el crecimiento de la población y la creciente demanda de alimentos. Esto ha catalizado la [demanda de robots agrícolas](#) [6], sector que alcanzó unas ventas de 1.100 millones de dólares en 2020, estimándose que para 2030 la venta de estos ascenderá a unos 11.000 millones de dólares, según pronósticos de *GlobalData*, empresa líder en análisis de datos.

Actualmente los robots existentes representan tan solo un 1% de las soluciones utilizadas, a pesar de haberse introducido hace unos 15 años según un estudio realizado por el [Observatorio Agroalimentario Inteligente](#) [7]. Una de las principales causas de este bajo porcentaje son sus altos precios, los cuales hacen más difícil su introducción para pequeños y medianos agricultores.

Según un [artículo del anuario UPA 2021](#) [8], la falta de conocimiento técnico entre los agricultores también es una restricción importante para el crecimiento de su uso. Esto es, en general, debido a la edad de los agricultores y sus pocas posibilidades en el pasado de contacto con las nuevas tecnologías. Por tanto, para poder aumentar el uso de la tecnología en agricultura es necesario una renovación generacional y una formación por parte de los nuevos agricultores.

En el mercado actual encontramos varias propuestas relacionadas con estos objetivos. Se destaca un modelo desarrollado y patentado por la [Universidad Politécnica de Valencia \(Patente europea EP20382716\)](#) [9] y [10]. Proponen un robot autónomo agrícola que incluye un sistema de navegación independiente de la señal GPS con sensores incorporados, abriendo la puerta a la automatización en los cultivos donde la tecnología GPS no era una opción habitual.



Ilustración 3: Robot diseñado por la Universidad de Valencia

Sin embargo, este robot no tiene gran influencia sobre la mejora en los cultivos ya que su único objetivo es poder desplazarse de forma independiente, sin tener ningún tipo de impacto sobre ellos.

Por otra parte, el modelo [Bacchus de Robotnik](#) [11] ha desarrollado un dispositivo para analizar la situación del cultivo y enviar al operario la información necesaria, relacionada con la recogida de la cosecha. La rápida evolución de la inteligencia artificial permite al robot detectar y distinguir objetos en caótico.



Ilustración 4: Bacchus de Robotnik

La marca [Ibericadron](#) [12] propone su modelo de robot agrícola terrestre enfocado en el control y mantenimiento de la plantación a través de la pulverización de productos fitosanitarios en el momento y lugar adecuado. Aun así, su precio asciende a los 25.000 euros, siendo bastante inaccesible para muchos agricultores emergentes y empresas pequeñas.



Ilustración 5: Robot comercializado por Ibericadron

En la base de datos *Espacenet*, se encuentran una serie de patentes relacionados con este campo. La investigación de estas se enfocará en presentar aquellos robots no tripulados (*unmanned*) enfocados en el cuidado de los cultivos y/o ayuda para ejercer tareas agrícolas.

Una [patente](#) [13] interesante sería la que propone un robot que sirve para transportar productos o la propia cosecha a través de los cultivos y que está dotado de una cinta para poder deslizar y depositar aquello que se transporta donde se desee.

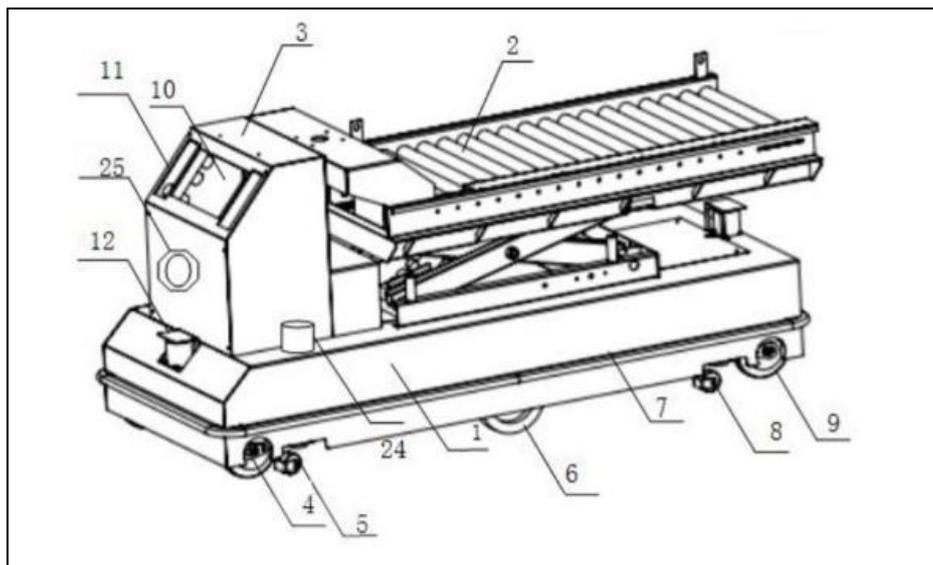


Ilustración 6: Patente del robot con cinta transportadora

Otra [patente](#) [14] llamativa sería un robot multifuncional. La invención propone un pequeño robot que puede usarse para agricultura. Es un dispositivo inventado para ser controlado de forma remota, evitando obstáculos o siguiendo su propia ruta. Está equipado para prevenir la intoxicación por los pesticidas de los trabajadores.

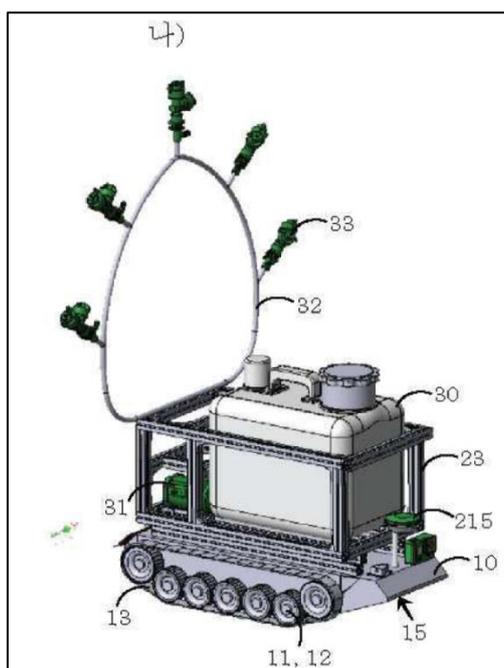


Ilustración 7: Robot multifuncional

Un ejemplo de robot agrícola completo es el llamado [robot de deshierbe](#) [15]. Este tiene su propio sistema de control y navegación, plan de detección y reconocimiento de plantas y un sistema para el control de la operación de los distintos motores eléctricos. Destaca, en la parte baja del robot, un motor DC que conduce la herramienta de corte a través del eje para extraer la hierba de forma mecánica. Esto tiene como efecto un incremento en la calidad de separación entre hierbas, reduce el daño producido a las plantas cultivadas y disminuye el consumo de potencia.

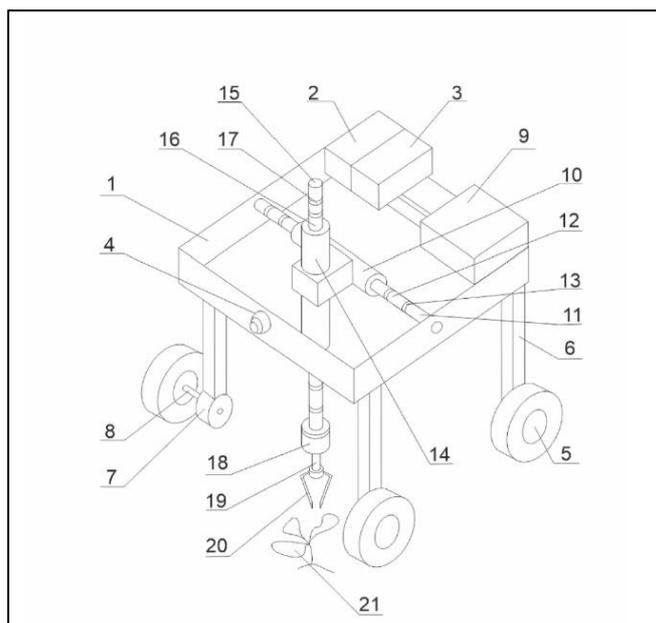


Ilustración 8: Robot agrícola de deshierbe

También cabe destacar la combinación de todas las funciones presentadas anteriormente con el concepto de robot aéreo o dron. Podemos recalcar algunos dedicados al [análisis de los cultivos](#) [16], así como otros dedicados al [tratamiento de estos](#) [17].

Con todos estos proyectos se observa que hasta el momento se han desarrollado varios robots relacionados con diversas facetas de la agricultura, pero ninguno realiza todas las tareas en conjunto, lo cual sería idílico y resolvería la mayoría de los problemas de una sola tacada.

La empresa *Agricultoro S.A.* presenta un robot autónomo, versátil y polivalente que hace más efectivo investigar y conocer el estado de los cultivos, así como tratarlos posteriormente. Es un robot que será más asequible económicamente y fácil de gestionar para el público objetivo, los agricultores de corta, mediana y avanzada edad.

Está claro que la robótica implementada en cultivos es un nicho de mercado en pleno auge, con una potente proyección en el futuro. Es una propuesta innovadora y atractiva que supondrá un influyente cambio en el sector primario y en gran parte de la red industrial.



1.3.-Solución propuesta.

En este proyecto se ha propuesto como solución un robot completo, **Agricultoro**, que funcionará de forma autónoma como asesor técnico además de realizar las labores principales de mantenimiento del cultivo de los invernaderos. Es un robot que servirá de ayuda tanto para los ingenieros y técnicos que estén estudiando el cultivo como para los propios agricultores, que podrán monitorizar y tratar los cultivos gracias al asesoramiento que ofrece el robot, así como mejorar la eficiencia de los recursos empleados. Además, la calidad de vida de los agricultores mejorará gracias a *Agricultoro*, ya que las horas de trabajo y los riesgos disminuirán considerablemente.

El robot tendrá forma de coche, con su correspondiente chasis, y su movimiento será autónomo, con ciertas facetas de control mediante una aplicación móvil. Además, contará con depósitos donde se pueda añadir agua e incluso los tratamientos químicos necesarios para el posterior trato de plantas y cultivos. *Agricultoro* permitirá el riego y la detección de posibles enfermedades en los cultivos mediante una cámara, que podrá moverse de forma telemática, además de varios sensores que proporcionarán en tiempo real la información deseada al agricultor. Esto hace que la exposición de los trabajadores al clima agrícola sea prácticamente nula.

Gracias a su diseño, se contará con toda una estación meteorológica móvil (mediante sensores de temperatura, humedad, luminosidad, etcétera) en un vehículo autónomo que mantendrá el cultivo en su óptimo rendimiento a través de un riego y saneamiento automatizados. Esto disminuirá la necesidad de mano de obra, además de usar el agua y otros productos de una manera mucho más eficiente, apaciguando el problema de la sequía, puesto que se controlará en qué momento y zona se necesita regar.

Las especificaciones de este robot permitirán aumentar la rentabilidad y productividad, ya que se podrá disminuir el número de trabajadores y obtener un significativo ahorro general de productos. Esto se traducirá en un menor coste de producción y, por tanto, un mayor coste de venta y ganancia para el agricultor.

Por otra parte, este compacto robot remedia uno de los problemas más acuciantes en el sector, como es la seguridad del personal que tiene contacto directo con sustancias tóxicas. Una fumigación programada permite evitar el contacto con dichas sustancias. Así pues, *Agricultoro* no solo está pensado para mejorar cuestiones económicas, si no también algo tan importante como lo es la salud de los trabajadores y el medioambiente.

En conclusión, el robot agrícola será capaz de resolver de forma polivalente los problemas que llevan acechando al campo las últimas décadas, a los cuales no se les ha encontrado todavía una solución óptima hasta hoy. Asimismo, gracias a su buen diseño y bajo coste de producción, éste tiene una gran capacidad de mejora, adaptándose rápidamente a posteriores inconvenientes que puedan surgir en el sector.

Por todo ello, se ha decidido desarrollar un producto que, sin duda, se convertirá en un pilar fundamental en el campo, acaparando el día de mañana otros sectores como la ganadería.



Agricultoro será en un futuro muy próximo uno de los grandes robots revolucionarios de este siglo XXI, en el que la robótica cada vez está más presente y la agricultura está entrando en declive.



Ilustración 9: Concept art de 'Agricultoro'



2. -Alcance.

2.1.-Objetivos.

Objetivo 1. **Reducción de riesgo** para los trabajadores. Al minimizar la exposición de los trabajadores a productos químicos y condiciones climáticas adversas, el robot agrícola contribuirá a reducir los riesgos para la salud asociados con las prácticas agrícolas tradicionales.

Objetivo 2. **Incremento de la eficiencia** al realizar tareas agrícolas que normalmente requerirían tiempo y esfuerzo humano. En consecuencia, una mayor productividad en la gestión de cultivos.

Objetivo 3. **Aumento de la calidad** de los productos. Al proporcionar un sistema autónomo que lleve un seguimiento del cultivo, se controlan más cuidadosamente los distintos cuidados necesarios para cada planta.

Objetivo 4. **Realizar un sistema autónomo** capaz de desarrollar tareas agrícolas sencillas.

Objetivo 5. **Optimizar el riego** administrando el agua de forma controlada. El robot agrícola puede contribuir a una gestión más eficiente de los recursos, maximizando así el rendimiento y disminuyendo los costes necesarios para la producción.

Objetivo 6. **Sistema de fumigación preventiva** para evitar posibles enfermedades futuras.

Objetivo 7. **Mejora de la toma de decisiones**. La recopilación de datos en tiempo real proporcionados por el robot puede ayudar a los agricultores y técnicos a tomar decisiones más acertadas sobre el manejo de los cultivos.

Objetivo 8. **Detección prematura de enfermedades** mediante el monitoreo de variables ambientales. Con esto, se puede prevenir la propagación de enfermedades y minimizar los daños en el cultivo.

Objetivo 9. **Implementar una conexión a distancia** con el robot, permitiendo manejar y controlar ciertas facetas de este.



2.2.-Requisitos.

Requisitos funcionales:

- F.1: El robot **debe** poder desplazarse de forma autónoma y eficaz, siguiendo las calles del invernadero.
- F.2: El robot **debe** evitar los obstáculos presentes y detenerse.
- F.3: El sistema **debe** implementar un método de riego automático para el cultivo.
- F.4: El robot **debería** medir la humedad de la tierra para su posterior riego.
- F.5: **Debe** haber un sistema de tratamiento de cultivo semiautomático.
- F.6: Se **deben** medir los niveles de los distintos depósitos.
- F.7: Se **debe** medir la temperatura ambiente.
- F.8: Se **debe** medir la humedad ambiente.
- F.9: Se **debe** medir la luminosidad del invernadero.

Requisitos de prestaciones:

- P.1.1: El robot **debe** desplazarse a 0.25 m/s.
- P.1.2: El robot **debe** poder desplazarse en cualquier dirección.
- P.2.1: Se **deben** evitar los obstáculos situados a menos de 3 centímetros.
- P.2.2: Se **deben** evitar los obstáculos presentes en cualquier dirección.
- P.3.1: El riego **debe** realizarse a 10 ml/s.
- P.3.2: El riego **debe** realizarse cada 30 centímetros si la tierra no está húmeda.
- P.4.1: Se **debe** medir la humedad de la tierra con una precisión de 5%.
- P.5.1: El tratamiento de plantas **debe** realizarse a través de un sistema de bombeo a 10 ml/s.
- P.5.2: El tratamiento de plantas **debe** realizarse cada 30 centímetros si este está activado.
- P.6.1: El nivel de líquidos **debe** mensurarse con una precisión de 1 milímetro.
- P.6.2: Se **debería** enviar un aviso si el nivel del agua es inferior a 20 milímetros.
- P.7.1: La temperatura ambiente **debe** medirse con 4°C de precisión.
- P.8.1: La humedad ambiente **debe** medirse con 2% de precisión.
- P.9.1: La luminosidad se **debe** mensurar con una precisión de 1 lux.
- P.10: Los sensores ambientales **deberían** medir durante todo el tiempo.



Requisitos de diseño:

D.1: Se **debe** diseñar el chasis de forma que el robot pueda desplazarse fácilmente por las estrechas calles de los invernaderos.

D.2: Se **debe** construir un chasis resistente y duradero que pueda soportar las condiciones ambientales y el uso continuo en entornos agrícolas.

D.3: Se **deben** implementar unas ruedas que admitan el desplazamiento omnidireccional.

D.4: Se **debería** utilizar metacrilato en el chasis para el correcto aislamiento entre los dispositivos electrónicos y los líquidos.

Requisitos de operación:

O.1: Se **debería** establecer una conexión inalámbrica entre el robot y el agricultor para la transmisión de datos en tiempo real.

O.2: Se **debería** manejar ciertas facetas como el encendido y apagado del robot de forma inalámbrica.

O.3: Se **debería** desarrollar una interfaz de usuario intuitiva para facilitar el control del robot y el acceso a los datos recopilados.

O.4: El robot **debería** incluir una cámara para monitorizar el cultivo.

O.5: El control de la cámara **podría** ser remoto para la vigilancia del cultivo desde diferentes ángulos.

O.6: La cámara **podría** realizar fotos para la detección de plagas y enfermedades.

Requisitos de seguridad:

S.1: Se **deberían** cubrir correctamente los dispositivos electrónicos para evitar la interferencia con el líquido.

S.2: El robot **debería** estar protegido ante colisiones leves.

Restricciones:

R.1: El presupuesto máximo del proyecto **no debe** superar los 80 €.



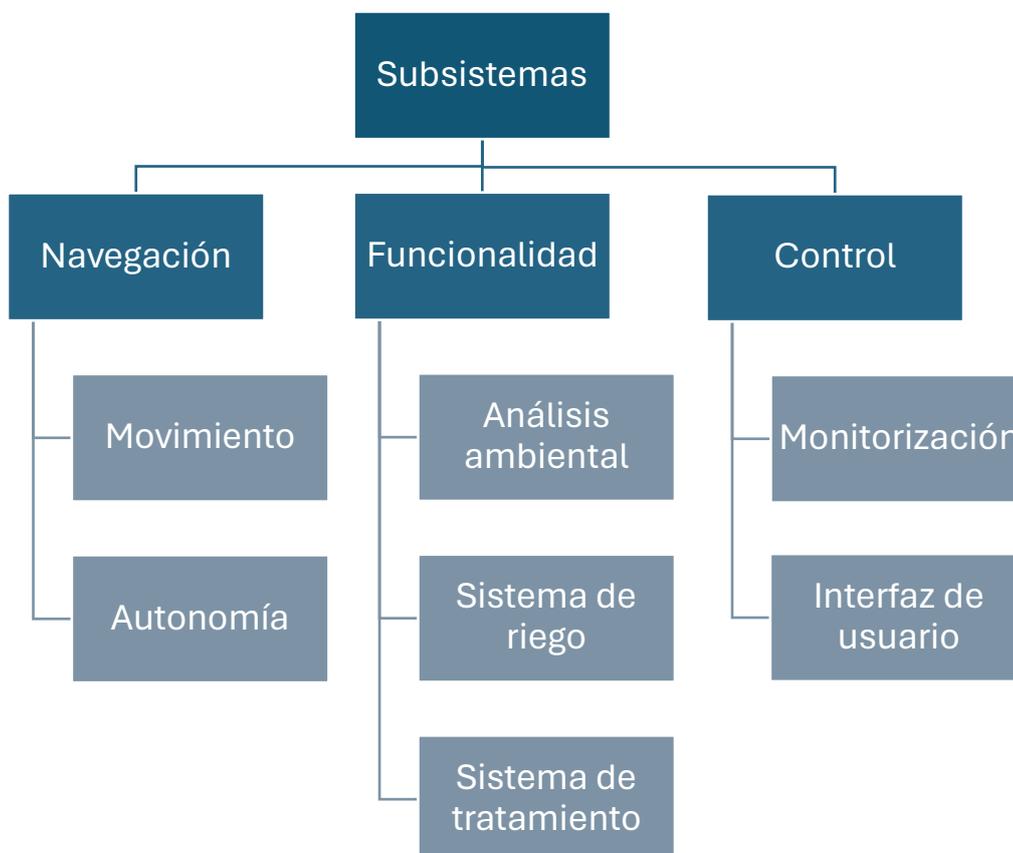
2.3.-Descripción de subsistemas.

Para el ordenado desarrollo del proyecto se ha optado por dividirlo de la siguiente manera: este estará compuesto por tres bloques fundamentales, los cuales son la navegación, un bloque que engloba las diferentes funciones del robot, y el sistema de control para el usuario.

El apartado de navegación se encargará de la programación y montaje del sistema que permitirá el desplazamiento del robot, mediante detectores de distancia. Además del movimiento del robot, esta sección se encargará de automatizar la navegación por el invernadero, así como la trayectoria a seguir en los diferentes procesos agrícolas.

El subsistema que engloba la funcionalidad del robot se dividirá en tres tareas fundamentales. Estas funciones, comentadas en apartados anteriores, son las siguientes: el análisis de la situación ambiental del invernadero mediante los diferentes sensores ambientales, el riego de los cultivos y su correspondiente medición de la humedad de la tierra, y su tratamiento mediante pesticidas u otro producto cuando el agricultor decida.

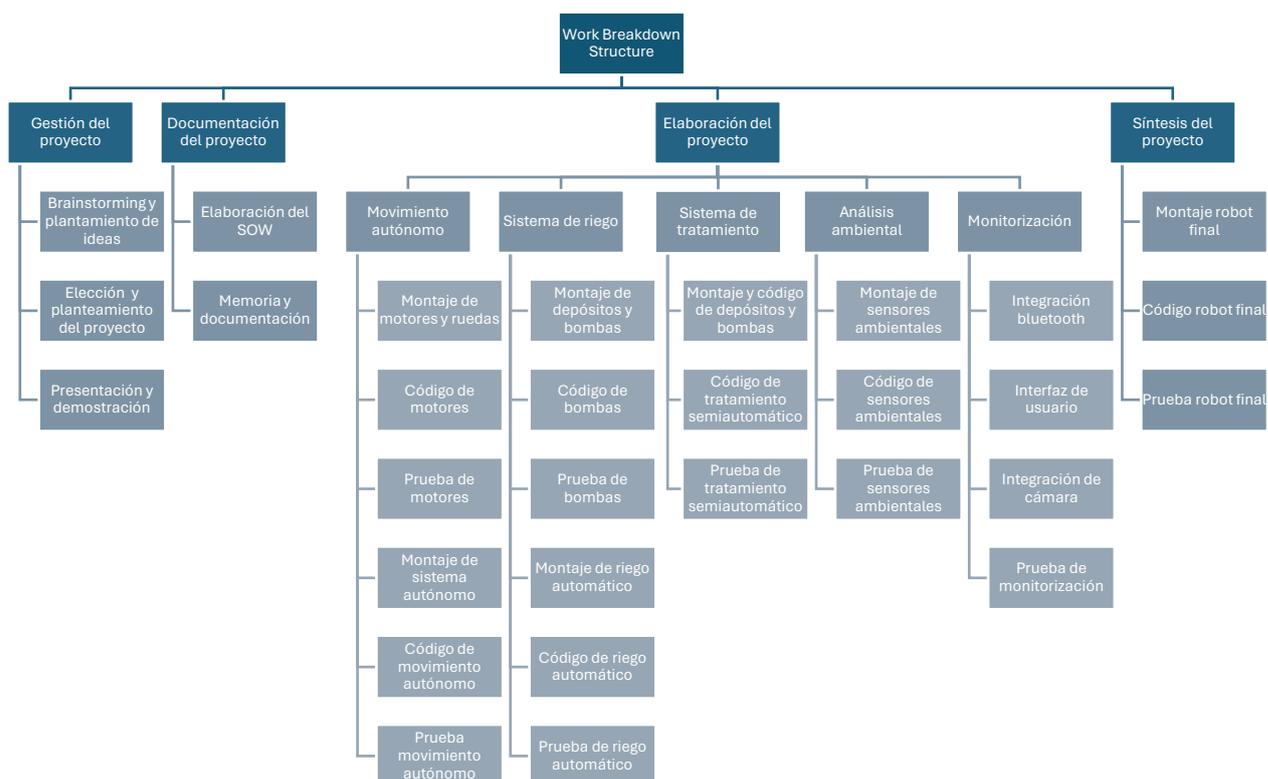
El último apartado a considerar consiste en la elaboración de un sistema de control a distancia para el operario. Este permitirá la activación a distancia del robot, ya sea para que empiece su trayectoria o para que realice algún tratamiento, y conocer el estado del cultivo mediante sensores y una cámara.





2.4.-WBS.

El siguiente paso en el planteamiento del proyecto consiste en separarlo en las distintas tareas, relacionadas con los subsistemas que se han descrito, que lo conformarán. Estas tareas, a su vez, conformarán estos cuatro grandes paquetes: gestión del proyecto, documentación del proyecto, elaboración del proyecto y síntesis del proyecto.



El primer grupo, gestión del proyecto, se refiere a todas aquellas tareas que han debido realizarse antes de iniciar con el proyecto, es decir, el planteamiento de las posibles ideas y la elección del proyecto que se va a realizar, y las que deberán ejecutarse una vez éste esté terminado, la presentación del proyecto y demostración del funcionamiento del robot.

El segundo conjunto de tareas agrupa todas aquellas que se refieren a la elaboración de la documentación del proyecto. Es decir, la redacción del Statement of Work, la memoria y la documentación de los programas desarrollados.

El siguiente de los bloques en los que se divide este proyecto integra todas las tareas que se refieren al desarrollo del proyecto de por sí. Éste, a su vez, se divide en cinco paquetes que coinciden con los subsistemas que componen el proyecto, mencionados anteriormente (movimiento autónomo, sistema de riego, sistema de tratamiento, análisis ambiental y monitorización).



Las tareas referentes a los distintos paquetes de los subsistemas se enumerarán a continuación. **Movimiento autónomo del robot:** montaje de los motores y las ruedas, elaboración del código para los motores, prueba del correcto funcionamiento de los motores, montaje del sistema autónomo, elaboración del código para el sistema autónomo y prueba del movimiento autónomo; **sistema de riego:** montaje de los depósitos y bombas, elaboración del código para las bombas, prueba del funcionamiento de las bombas, montaje del sistema de riego automático elaboración del código de riego automático y prueba del riego automático; **sistema de tratamiento** (que beberá de lo realizado para el sistema de riego): montaje de depósitos y bombas, elaboración del código de tratamiento semiautomático y prueba de tratamiento semiautomático; **análisis ambiental:** montaje de los sensores ambientales (temperatura, humedad, etcétera), desarrollo del código de sensores ambientales y prueba de los sensores ambientales; **monitorización:** integración del módulo bluetooth en el robot, desarrollo de una interfaz de usuario, integración de una cámara y prueba de monitorización remota.

El último de los bloques de tareas engloba todas aquellas que deberán realizarse para sintetizar y agrupar los diferentes subsistemas, cuyas tareas se han enumerado en el párrafo anterior, para la elaboración del robot final. Estas tareas serán: montaje del robot final y desarrollo del código y prueba finales del funcionamiento global del robot.



3.-Periodo y planificación.

3.1.-Periodo de trabajo.

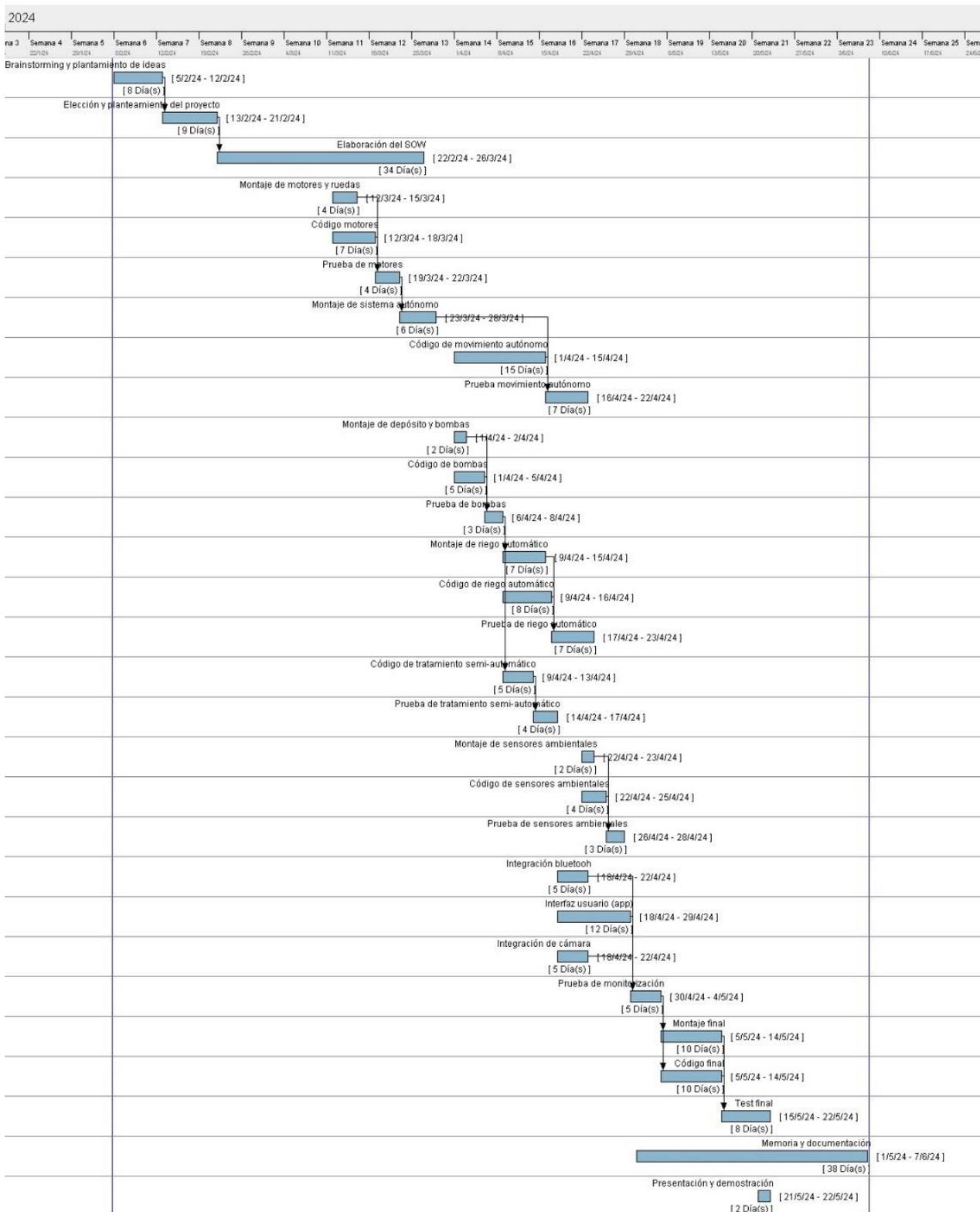
El proyecto dio comienzo el día 5 de febrero de 2024. Para la realización del proyecto se dedicarán aproximadamente 200 horas de trabajo repartidas en 4 meses, hasta la demostración. La presentación y demostración tendrán lugar el 21 de mayo de 2024.

Posteriormente, se dispondrá de 23 días extra para la realización de la documentación del trabajo. Esta se entregará el 12 de junio de 2024, concluyéndose así la entrega del proyecto.



3.2.-Diagrama de Gantt.

Una vez descritas las tareas, es necesario organizarlas cronológicamente y establecer las dependencias entre las mismas.





Lista de tareas:

1. *Brainstorming* y planteamiento de ideas: 5/02/24 - 12/02/24, 8 días.
2. Elección y planteamiento del proyecto: 13/02/24 - 21/02/24, 9 días.
3. Elaboración del SOW: 22/02/24 - 26/03/24, 34 días.
4. Montaje de motores y ruedas: 12/03/24 - 15/03/24, 4 días.
5. Código motores: 12/03/24 - 18/03/24, 7 días.
6. Prueba de motores: 19/03/24 - 22/03/24, 4 días.
7. Montaje de sistema autónomo: 23/03/24 - 28/03/24, 6 días.
8. Código de movimiento autónomo: 1/04/24 - 15/04/24, 15 días.
9. Prueba movimiento autónomo: 16/04/24 - 22/04/24, 15 días.
10. Montaje de depósito y bombas: 1/04/24 - 2/04/24, 2 días.
11. Código de bombas: 1/04/24 - 5/04/24, 5 días.
12. Prueba de bombas: 6/04/24 - 8/04/24, 3 días.
14. Montaje de riego automático: 9/04/24 - 15/04/24, 7 días.
15. Código de riego automático: 9/04/24 - 16/04/24, 7 días.
16. Prueba de riego automático: 17/04/24 - 23/04/24, 7 días.
17. Código de tratamiento semiautomático: 9/04/24 - 13/04/24, 5 días.
18. Prueba de tratamiento semiautomático: 14/04/24 - 17/04/24, 4 días.
19. Montaje de sensores ambientales: 22/04/24 - 23/04/24, 2 días.
20. Código de sensores ambientales: 22/04/24 - 25/04/24, 4 días.
21. Prueba de sensores ambientales: 26/04/24 - 28/04/24, 3 días.
22. Integración bluetooth: 18/04/24 - 22/04/24, 5 días.
23. Interfaz usuario (app): 18/04/24 - 29/04/24, 12 días.
24. Integración de cámara: 18/04/24 - 22/04/24, 5 días.
25. Prueba de monitorización: 30/04/24 - 4/05/24, 5 días.
26. Montaje final: 5/05/24 - 14/05/24, 10 días.
27. Código final: 5/05/24 - 14/05/24, 10 días.
28. Test final: 15/05/24 - 20/05/24, 8 días.
29. Memoria y documentación: 1/05/24 - 7/06/24, 38 días.
30. Presentación y demostración: 21/05/24 - 22/05/24, 2 días.



3.3.-Análisis de riesgos.

En este proyecto se está tratando con diversos temas que tienen ciertos riesgos, ya sea el sistema de riego automatizado o el desplazamiento autónomo, entre otros. Para el análisis de riesgos se empleará una matriz para la captación eficaz. Los riesgos por evaluar son los siguientes:

1. Riesgo de vertido de líquidos

Descripción del riesgo: La combinación de agua y tecnología es comúnmente peligrosa, pues la severidad del riesgo que conlleva es muy alta. Si el líquido de los depósitos alcanza algún componente electrónico estos quedarán inutilizables.

Métodos de prevención utilizados: *Agricultoro* dispondrá de un depósito para el riego y otro para el tratamiento del cultivo, por lo que se mirará con antelación que la proximidad de los fluidos con los elementos electrónicos no sea alta.

Riesgo		Probabilidad		
		BAJA	MEDIA	ALTA
Severidad	BAJO	Muy bajo	Bajo	Medio
	MEDIO	Bajo	Medio	Alto
	ALTO	Medio	Alto	Muy alto

2. Riesgo de colisión

Descripción del riesgo: En el transcurso del recorrido puede surgir la eventualidad de que el robot se encuentre con distintos obstáculos, ya sean propios del invernadero, como posibles piedras o ramas, o externos, lo que podría provocar daños en la carrocería e interferencias en el correcto funcionamiento de *Agricultoro*.

Métodos de prevención utilizados: Se implementarán sensores ultrasónicos en distintos puntos del robot, con el propósito de prevenir colisiones involuntarias, controlando así el entorno en todo momento y actuando en consecuencia.

Sin embargo, estos sensores con el paso del tiempo también pueden llegar a fallar, siendo de vital importancia que la carrocería del coche sea suficientemente compacta y resistente para soportar cualquier tipo de golpe.

Riesgo		Probabilidad		
		BAJA	MEDIA	ALTA
Severidad	BAJO	Muy bajo	Bajo	Medio
	MEDIO	Bajo	Medio	Alto
	ALTO	Medio	Alto	Muy alto



3. Riesgo eléctrico.

Descripción del riesgo: Un fallo de esta índole podría tener consecuencias muy graves, ya sea la interrupción de las operaciones del robot agrícola como posibles daños a la propiedad, y lo más importante, riesgos para la seguridad tanto del operario como de otras personas presentes en el entorno.

Métodos de prevención utilizados: Para evitar posibles cortocircuitos, se usará para la carrocería materiales aislantes, en este caso, metacrilato.

Por ello, es necesario abordar este riesgo no solo por el daño irreversible en nuestro robot, sino también por el daño a personas. Un cortocircuito en la placa o cualquier problema electrónico conlleva un riesgo no muy severo en nuestro prototipo ya que no se trabaja con altas tensiones, pero sí en el robot como se ha explicado anteriormente.

Riesgo		Probabilidad		
		BAJA	MEDIA	ALTA
Severidad	BAJO	Muy bajo	Bajo	Medio
	MEDIO	Bajo	Medio	Alto
	ALTO	Medio	Alto	Muy alto

4. Riesgo de mal funcionamiento o agotamiento de la autonomía.

Descripción del riesgo: La autonomía de *Agricultoro* puede llegar a ser un punto débil, pues al estar ininterrumpidamente en funcionamiento, el gasto de energía es considerable.

Métodos de prevención utilizados: Se proveerá de una batería recargable de 9V, suficiente para abastecer todas las prestaciones de nuestro robot. Sin embargo, la batería puede llegar a dejar de funcionar de un día para otro, lo que hay que tener en cuenta.

Riesgo		Probabilidad		
		BAJA	MEDIA	ALTA
Severidad	BAJO	Muy bajo	Bajo	Medio
	MEDIO	Bajo	Medio	Alto
	ALTO	Medio	Alto	Muy alto

Como plan de contingencia general, sobre todo para el riesgo del vertido de líquidos y el eléctrico, se establecerá un fondo económico dedicado a cubrir los costos asociados con cualquier eventualidad, dejando un margen de unos 20 euros del presupuesto total. Este fondo se utilizará para reparar daños, compensar pérdidas y proporcionar apoyo financiero en caso de accidentes o problemas relacionados con el robot. La reserva de fondos garantizará una respuesta rápida y efectiva ante cualquier situación de emergencia, protegiendo así tanto la inversión en el proyecto como la seguridad de las personas. En conjunto, estas estrategias constituyen un enfoque integral para mitigar los riesgos y asegurar un funcionamiento seguro y eficiente del robot agricultor en todo momento.



4.-Calendarios de entregables.

Para organizar correctamente el trabajo, es fundamenta saber qué es necesario entregar y en qué fecha; por tanto, a continuación se verán reflejadas dichas fechas con sus respectivos entregables.

Entregas	Fecha	Documentación para entregar
Versión preliminar del SOW	3 de abril de 2024	Statement of Work
Versión corregida del SOW	19 de abril de 2024	Statement of Work
Informe de progreso 1	26 de abril de 2024	Primer informe de progreso del proyecto
Informe de progreso 2	3 de mayo de 2024	Segundo informe de progreso del proyecto
Informe de progreso 3	10 de mayo de 2024	Tercer informe de progreso del proyecto
Presentación del proyecto	21 de mayo de 2024	Transparencias de la presentación, vídeos de demostración e imágenes
Entrega documentación final	12 de junio de 2024	Versión final del Statement of Work y memoria descriptiva de los resultados



5.-Criterios de aceptación.

5.1.-Criterios de aceptación.

Se considerará finalizado el proyecto una vez se hayan cumplido satisfactoriamente los objetivos propuestos, respetando de la mejor forma posible los requisitos especificados.

5.2.-Matriz de verificación.

Requisito	Nombre Requisito	Verificación				Nombre de prueba	Estado
		I	A	D	T		
F.1	Desplazamiento	X		X	X	Movimiento 1	Completado
F.2	Colisiones			X	X	Detección obstáculos	Pendiente
F.3	Riego			X	X	Riego	Pendiente
F.4	Humedad			X	X	Calibración de humedad	Pendiente
F.5	Tratamiento de cultivo			X	X	Dispersión de productos	Pendiente
F.6	Nivel de depósitos	X		X	X	Cantidad de líquido correcta	Pendiente
F.7	Temperatura ambiente			X	X	Medición de temperatura	Pendiente
F.8	Humedad ambiente			X	X	Medición de humedad	Pendiente
F.9	Luminosidad			X	X	Adecuación luminosa	Pendiente
P1.1	Velocidad			X	X	Control de velocidad	Completado
P1.2	Direccionamiento			X	X	Control de dirección	Completado
P2.1	Obstáculos cercanos			X	X	Evitar obstáculos 1	Pendiente
P2.2	Obstáculos en cualquier dirección			X	X	Evitar obstáculos 2	Pendiente
P3.1	Velocidad riego			X	X	Precisión velocidad riego	Pendiente
P3.2	Frecuencia de riego			X	X	Control riego	Pendiente
P4.1	Precisión medición humedad			X	X	Precisión humedad	Pendiente
P5.1	Caudal tratamiento			X	X	Caudal del tratamiento de plantas	Pendiente
P5.2	Distancia tratamiento			X	X	Distancia del tratamiento	Pendiente
P6.1	Precisión de nivel			X	X	Precisión del nivel de líquidos	Pendiente
P6.2	Aviso de nivel			X	X	Aviso de nivel de líquidos insuficiente	Pendiente



P7.1	Precisión temperatura			X	X	Precisión de la temperatura ambiente	Pendiente
P8.1	Precisión humedad			X	X	Precisión de la humedad ambiente	Pendiente
P9.1	Precisión de luz			X	X	Precisión de la luz ambiente	Pendiente
P.10	Medición continua			X	X	Medida continua de los sensores	Pendiente
D.1	Estructura	X		X	X	Diseño de estructura	Pendiente
D.2	Tamaño chasis	X				Dimensiones de chasis	Pendiente
D.3	Durabilidad chasis				X	Durabilidad de chasis	Pendiente
D.4	Ruedas	X				Movimiento omnidireccional	Completado
D.5	Aislamiento chasis	X				Aislamiento metacrilato	Pendiente
O.1	Conectividad 1		X	X	X	Conexión robot-agricultor	Pendiente
O.2	Conectividad 2		X	X	X	Conexión inalámbrica	Pendiente
O.3	Cámara		X	X	X	Prueba de cámara	Pendiente
O.4	Control cámara		X	X	X	Control de cámara	Pendiente
O.5	Interfaz de control	X	X	X	X	Funcionamiento interfaz de usuario	Pendiente
S.1	Aislamiento	X				Aislamiento de líquidos	Pendiente
S.2	Protección colisiones	X		X	X	Colisión	Pendiente
R.1	Presupuesto	X				Elaboración de presupuesto	Completado



5.3.-Plan de pruebas.

Test de motores:

El test de motores consiste en comprobar el correcto funcionamiento de los motores englobaría los requisitos F.1, P.1.1, P.1.2 y D.4.

Número de test	1
Subsistema	Sistema de movimiento
Lugar del test	Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Elementos comprobados	Motores, drivers y ruedas
Procedimiento del test	Se comprueba que el robot se desplace de forma recta en distintas direcciones
Duración del test	1 hora
Fechas del test	19 de marzo-22 de marzo
Test completado	Sí

Test de bombas:

Este test comprobará el correcto funcionamiento de las bombas junto con el adecuado nivel de los depósitos englobaría los requisitos F.3, F.6, P.3.1, P.3.2, P.6.1 y P.6.2.

Número de test	2
Subsistema	Sistema de riego
Lugar de test	Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Elementos comprobados	Bombas de agua
Procedimiento del test	Se comprobará que el riego se produzca con un caudal cercano al valor propuesto en los requisitos P3.1 y P5.1
Duración del test	2 horas
Fechas del test	6 abril – 8 abril
Test completado	NO

Test de tratamiento semiautomático:

El test de tratamiento semiautomático tratará de comprobar requisitos como F.5, P.5.1 y P.5.2.

Número de test	3
Subsistemas	Sistema de tratamiento
Lugar de test	Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Elementos comprobados	Bombas de pesticidas
Procedimiento del test	Se comprobará que el tratamiento mediante pesticida se produzca cuando recibe una señal con un caudal cercano al valor propuesto en el requisito P5.1
Duración del test	3 horas
Fechas de la campaña del test	14 de abril – 17 de abril
Test completado	NO



Test de sensores ambientales:

Este test comprobará el correcto funcionamiento de los sensores para el control del ambiente. Englobará requisitos como F.7, F.8, F.9, P.4.1, P.7.1, P.8.1, P.9.1 y P.10.

Número de test	4
Subsistemas	Análisis ambiental
Lugar de test	Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Elementos comprobados	Todos los sensores
Procedimiento del test	Se determinará si los sensores miden con la precisión adecuada las condiciones ambientales del robot
Duración del test	1 hora
Fechas de la campaña del test	26 de abril - 28 de abril
Test completado	NO

Test de monitorización:

Con el test de monitorización pretendemos comprobar que el robot se puede controlar correctamente. Los requisitos englobados son O.1, O.2, O.4 y O.5.

Número de test	5
Subsistemas	Sistema de monitorización
Lugar de test	Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Elementos comprobados	Software de la aplicación
Procedimiento del test	Se comprobará el correcto control del robot a través de la aplicación
Duración del test	5 horas
Fechas de la campaña del test	30 de abril – 4 de mayo
Test completado	NO

Test de movimiento autónomo:

El test de movimiento autónomo consistirá en comprobar el correcto movimiento del robot y englobará los requisitos F.1, F.2, P.1.1, P.1.2, P.2.1, P.2.2, D.4 y S.2

Número de test	6
Subsistemas	Sistema de autonomía
Lugar de test	Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Elementos comprobados	Motores, drivers, ruedas y sensores de posición
Procedimiento del test y duración	Se comprobará que el robot sigue la trayectoria requerida dentro del invernadero de forma adecuada
Duración del test	5 horas
Fechas de la campaña del test	16 de abril - 22 de abril
Test completado	NO



Test de riego automático:

Este test tratará el funcionamiento del riego automático en todos sus aspectos. Los requisitos comprobados serán F.3, F.4, F.6, P.3.1, P.3.2, P.4.1, P.6.1 y P.6.2

Número de test	7
Subsistema	Sistema de riego
Lugar de test	Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Elementos comprobados	Bombas y sensor de humedad capacitivo
Procedimiento del test	Se comprobará que el riego se produzca cuando la humedad medida sea inferior a un umbral con un caudal cercano al valor propuesto en el requisito P3.1
Duración del test	4 horas
Fechas de la campaña del test	17 de abril - 23 de abril
Test completado	NO

Test de robot final:

Con el test final trataremos de comprobar el correcto funcionamiento de todo el robot el conjunto.

Número de test	8
Subsistema	Robot completo
Lugar de test	Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Elementos comprobados	Robot completo
Procedimiento del test	Se comprobará que el robot completa varios ciclos de forma correcta en su conjunto
Duración del test	7 horas
Fechas de la campaña del test	15 de mayo – 22 de mayo
Test completado	NO



6.-Material y presupuesto.

6.1.-Material necesario.

Unidades	Material	Utilidad	Precio (€)	Compra
Placas				
1	Arduino Mega	Programación software robot	25.99	No
1	Protoboard	Conexión componentes electrónicos	4.96	No
Sensores				
4	Ultrasónico HC-SR04	Medición proximidad a obstáculos	5.20	No
2	Sensor de humedad del suelo capacitivo	Medición humedad tierra	3.92	Sí
2	Sensor de nivel agua	Medición nivel agua depósitos	5.00	No
1	Sensor humedad y temperatura ambiente CNT5	Medición humedad y temperatura ambiente	5.58	No
1	Sensor luminosidad	Medición luminosidad ambiente	2.99	No
Actuadores				
4	Motores	Movimiento ruedas	6.00	Sí
4	Bombas	Propulsión agua en depósito	5.96	Sí
4	Leds 5mm estándar	Avisos de emergencias	0.20	No
3	Servo micro rotación continua <i>feetech fs90r</i>	2 servos para el movimiento del sensor de humedad hacia la tierra, 1 servo para ampliar el rango del ultrasónico	10.35	No
Módulos				
2	Driver L298N doble puente en H	Control velocidad y giro de motores	9.40	Sí
1	Módulo Relé 4 canales, 5V	Interruptor que acciona el funcionamiento de las bombas	2.27	Sí



Estructura				
1	Placa de metal	Base del chasis	0.64	Sí
2	Depósitos	Almacenamiento de fluidos	3.75	No
3	Placa de metacrilato	Bases para la distribución de componentes	1.50	No
4	Ruedas omnidireccionales	Movimiento del robot en todas las direcciones	6.00	Sí
4	Tubos	Medio de riego del cultivo	5.00	Sí
50	Cables	Conexión entre elementos	3.50	No
Alimentación				
1	Batería 9V	Administración de energía hacia componentes electrónicos	11.00	Sí
1	Fuente de tensión	Prueba de voltaje e intensidad de motores	60.00	No
Sistemas de medición				
1	Multímetro	Medición de voltaje e intensidad	10.49	No
Herramientas				
1	Soldador	Unión de componentes y cables	10.00	No
1	Destornillador	Ajuste tornillos	5.00	No
1	Pelacables	Corte de cables	6.00	No



6.2.-Presupuesto.

Presupuesto prototipo:

El presupuesto prototipo conlleva la suma de todo lo comprado para el montaje de *Agricultoro*, siendo el presupuesto máximo, en nuestro caso, de 80 €.

Suma material: 53.19 €.

A esta cifra habría que sumar la parte de presupuesto reservada a posibles contratiempos, que sería de unos 20€.

Suma material total: 73.19 €.

Presupuesto producto:

El presupuesto producto engloba todo lo que se ha gastado en la empresa, es decir, tanto el coste del material como la mano de obra u otros costes indirectos.

Suma material: 210.70€.

Al igual que en el anterior presupuesto, sumamos la parte reservada a los posibles contratiempos.

Suma material total: 230.70 €.

Al gasto en productos hay que sumarle la mano de obra, que será el número de horas invertidas para realizar el proyecto, 200 horas, por el coste por hora, 16.09 €, además de los costes indirectos.

- **Presupuesto primera unidad:**

Coste total del material (Coste sin IVA)	230.70 € (190.66 €)
Mano de obra	3218.00 €
SUBTOTAL	3448.70 €
Costes indirectos (25% del Subtotal)	862.18 €
TOTAL (Total sin IVA)	4310.88 € (4270.84 €)

El precio de venta por unidad del producto sin IVA será de 3000 € (3630 € con IVA). Por tanto, las **pérdidas** que se registran de la primera venta serán de 1270.84 €.



- **Presupuesto a partir de la segunda unidad:**

Sin embargo, hay que considerar que existen elementos, considerados en este coste, que solo sería necesario adquirir una sola vez: fuente de tensión, multímetro, soldador, destornillador y pelacables. Esto supone que el presupuesto del producto a partir de la segunda unidad sería considerablemente menor.

Suma material total a partir de la segunda unidad: 139.21€.

Al gasto en productos hay que sumarle la mano de obra, cuyo coste se verá reducido, ya que el software ya ha sido desarrollado, solo quedando por realizar el montaje y conexiones. Esto hace que el tiempo invertido para realizar el producto a partir de la segunda unidad sea de aproximadamente 100 horas. Se vuelven a añadir los costes indirectos.

Coste total del material (Coste sin IVA)	139.21 € (115.05€)
Mano de obra	1609.00 €
SUBTOTAL	1748.21 €
Costes indirectos (25% del Subtotal)	437.05 €
TOTAL (Total sin IVA)	2185.26 €(2161.1€)

El precio de venta por unidad del producto será de 3000 € (3630 € con IVA). Por tanto, el **beneficio** del resto de unidades del producto será de 838.9 €.

Por tanto, no sería hasta la tercera unidad vendida que se recupera el dinero invertido en el desarrollo del prototipo (73.19 €) y las pérdidas generadas por el primer producto (1270.84 €), derivadas de la compra de activos que serán reutilizados en los productos siguientes y del software desarrollado.



7.-Referencias

- [1] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Informe sobre la gestión de la sequía en 2023,» Nota de prensa, 2023. [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2023/09/el-14-6--del-territorio-esta-en-emergencia-por-escasez-de-agua-y.html#:~:text=El%20a%C3%B1o%20hidrol%C3%B3gico%202022%2F23,de%20los%20mismos%20meses%20del.> [Último acceso: Febrero 2024].
- [2] Instituto Nacional de Estadística, «Censo Agrario. últimos datos,» 4 Mayo 2022. [En línea]. Available: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176851&menu=ultiDatos&idp=1254735727106. [Último acceso: Febrero 2024].
- [3] Subsecretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación; Subdirección General de Análisis, Coordinación y Estadística., «Una visión global de la agricultura española a través del análisis del censo agrario 2020.,» 2023.
- [4] European Commission, «Agriculture, forestry and rural areas,» [En línea]. Available: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/agriculture-forestry-and-rural-areas_en. [Último acceso: Febrero 2024].
- [5] Fresh Plaza, «Las ventas de robots agrícolas alcanzarán los 11.000 millones de dólares en 2030,» 14 Noviembre 2022. [En línea]. [Último acceso: Febrero 2024].
- [6] Elaisian, «Robots en la agricultura,» *Elaisian*, p. 1, 2023.
- [7] Universitat Politècnica de València, «explora,» Julio 2020. [En línea]. Available: https://aplicat.upv.es/exploraupv/ficha-tecnologia/patente_software/32082. [Último acceso: Febrero 2024].
- [8] C. C. A. S. R. V. Rovira Más Francisco, «Vinescout - Robot autónomo agrícola que incluye un sistema de navegación con sensores incorporados». España Patente EP20382716, 31 Julio 2020.
- [9] J. Pelegrí, «Universal Robots,» 16 Mayo 2022. [En línea]. Available: [https://www.universal-robots.com/es/blog/robots-para-agricultura/.](https://www.universal-robots.com/es/blog/robots-para-agricultura/) [Último acceso: Febrero 2024].
- [10] Ibericadron, «Robot Terrestre Agrícola,» [En línea]. Available: [https://www.ibericadron.com/categoria-producto/robot-terrestre-agricola/.](https://www.ibericadron.com/categoria-producto/robot-terrestre-agricola/)
- [11] L. SEN, G. WENZHONG, L. YINKUN, L. JIEHUA, W. CHAOWU, Z. YU, W. SHAOLEI, W. XIAOMING, Z. BO, L. YOU LI, Z. QIAN y C. HONG, «Facility agriculture road-rail». China Patente CN112477533A, 12 Marzo 2021.
- [12] 천민우, «Multipurpose Miniature Robot». Corea Patente KR102537049B1; KR20220103216A, 30 Mayo 2023.
- [13] N. G. V. [RU], L. A. A. [RU] y K. E. V. [RU], «Unmanned weeding robot». Rusia Patente RU2766888C1, 16 Marzo 2022.
- [14] K. R. V. [US], C. G. B. [US], Q. C. [US], D. J. [US], M. A. [US] y M. Y. S. [US], «Systems, devices and methods for robotic remote sensing for precision agriculture». Estados Unidos Patente US10385115B2; US2017372137A1; WO2016123201A1, 4 Agosto 2016.
- [15] L. XINPIN y W. JIAN, «Automatic control instrument of multiple-rotor-wing unmanned aerial vehicle for spraying pesticides». China Patente CN107608383A; CN107608383B, 19 Enero 2018.
- [16] Comisión Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, «Enfermedades profesionales de los agricultores,» 2008.
- [17] UPA; Fundación de Estudios Rurales; Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación., «Agricultura y ganadería familiar en España,» *Anuario*, pp. 40-42, 2021.