

# STATEMENT OF WORK

## RCO

**ROBOT DE CAMPO Y OCIO**

**Autores:** Gabriela Cano Azuaga  
María Alejandra Díaz-Capmany Carrasco  
Daniel Sánchez Cascajosa  
Daniel Mellado-Damas Sánchez  
Lucía Pérez Guerrero  
Gabriel Corrales Fernández  
Lola Hernández Cañizares  
Víctor Casado Adamov



Escuela Técnica Superior de  
**INGENIERÍA DE SEVILLA**



# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN/PROPÓSITO</b>	<b>2</b>
Descripción del problema	2
Estado del arte	4
Solución propuesta	6
<b>ALCANCE</b>	<b>8</b>
Objetivos	8
Requisitos	8
Descripción del sistema	10
WBS	10
<b>PERIODO Y PLANIFICACIÓN</b>	<b>10</b>
Periodo de trabajo	10
<b>CALENDARIO DE ENTREGABLES</b>	<b>11</b>
Riesgos de Seguridad	15
2.1. Seguridad del Usuario	15
2.2. Seguridad de Datos y Privacidad	15
3. Riesgos Ambientales y de Uso	15
3.1. Factores Externos en Aplicaciones de Exploración	15
4. Riesgos de Producción y Costos	16
4.1. Disponibilidad de Componentes y mantenimiento	16
5. Riesgos en la Experiencia del Usuario	17
5.1. Curva de Aprendizaje Elevada	17
5.2. Posibles Frustraciones en Niños (si es un juguete didáctico)	17
<b>CRITERIOS DE ACEPTACIÓN</b>	<b>18</b>
Criterios de aceptación	18
Matriz de verificación	18
Plan de pruebas	19
<b>MATERIAL Y PRESUPUESTO</b>	<b>28</b>
Material necesario	28
Presupuesto	30
<b>REFERENCIAS</b>	<b>31</b>
<b>Anexos (si procede)</b>	<b>32</b>

# INTRODUCCIÓN/PROPÓSITO

## *Descripción del problema*

Los robots de seguridad, ocio y uso doméstico están creciendo rápidamente en los últimos años. La gran demanda de estos servicios móviles hace que cada vez se invierta más dinero en ellos [1]. En particular, los robots de ocio, con sus capacidades de entretenimiento, aprendizaje y personalización, han abierto la puerta a nuevas posibilidades mientras que los *field robots* (robots de campo), se han estado desarrollando y ahora son capaces de operar en entornos reales como la desactivación de objetos peligrosos, manipulación de sustancias tóxicas y la vigilancia en zonas de difícil acceso.

Adaptar estos últimos con funciones de ocio, como ofrecer juegos interactivos, no solo amplía su utilidad, sino que también los convierte en herramientas multiusos capaces de combinar protección y diversión en un solo dispositivo.

Aunque los robots de campo no son los que mayor volumen de ventas tiene, se puede observar en la figura 1 su aumento debido a que pueden sustituir a personas en tareas peligrosas como la desactivación de bombas.

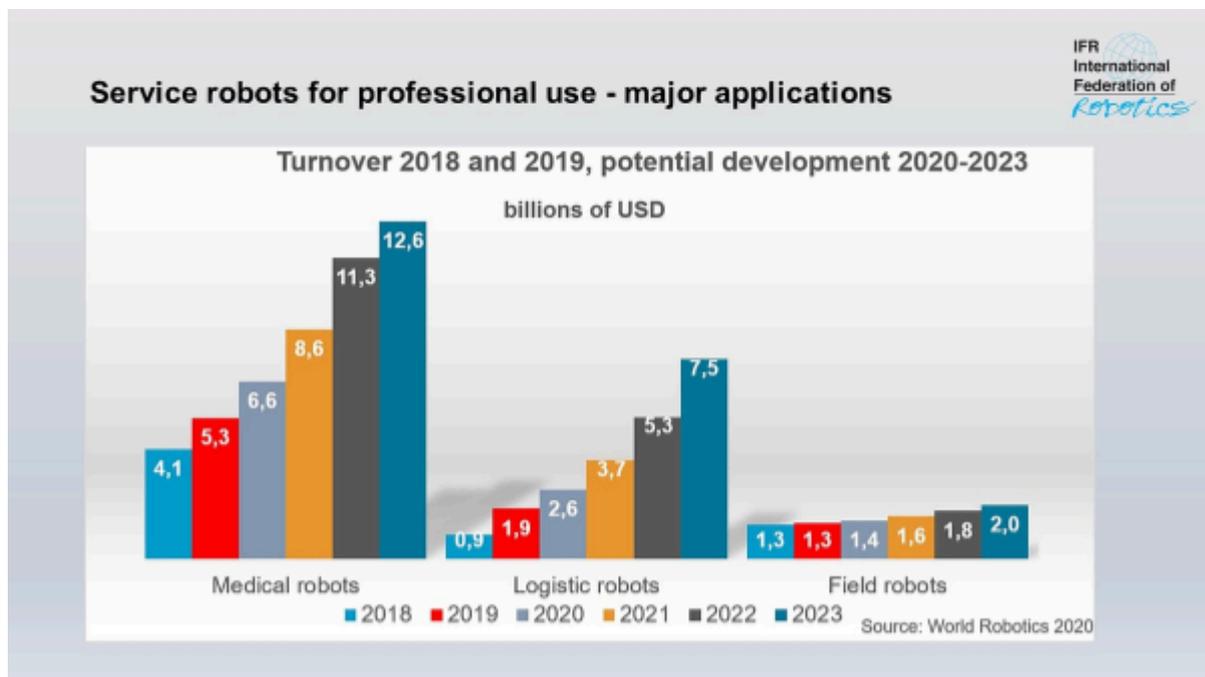


Fig 1: Ventas de robots para uso profesional. Fuente: international Federation of Robotics [1].

El uso de estos robots por control remoto para ese tipo de tareas está creciendo considerablemente [2] debido a que son trabajos donde puedes perder la vida por una equivocación. El robot puede detectar objetos peligrosos mediante sensores o una cámara, y gracias a los grados de libertad del brazo puede manipular de tal forma que ayude al operario. Este trabajo no se podría realizar sin un robot dedicado a la seguridad es por eso que este tipo de manipuladores son esenciales para garantizar la integridad del trabajador.

Por otro lado, se estima que el tamaño de mercado de robots de defensa aumentará hasta 38 mil millones de dólares, con una tasa de crecimiento anual de 7.69% desde 2023 [3]. Dentro de este mercado, los robots EOD (*Explosive Ordnance Disposal*) destacan como una solución clave para mitigar los riesgos asociados con la eliminación de artefactos explosivos y manipulación de sustancias tóxicas. Al emplear un robot EOD, el personal especializado puede operar desde una distancia segura, visualizando el área gracias a una cámara en tiempo real y manipulando objetos peligrosos sin exponerse directamente, lo que reduce significativamente el riesgo de lesiones o muerte. Este crecimiento del mercado refleja la creciente importancia de los robots de defensa, como los EOD, en la protección de vidas humanas y el fortalecimiento de la seguridad en operaciones críticas.

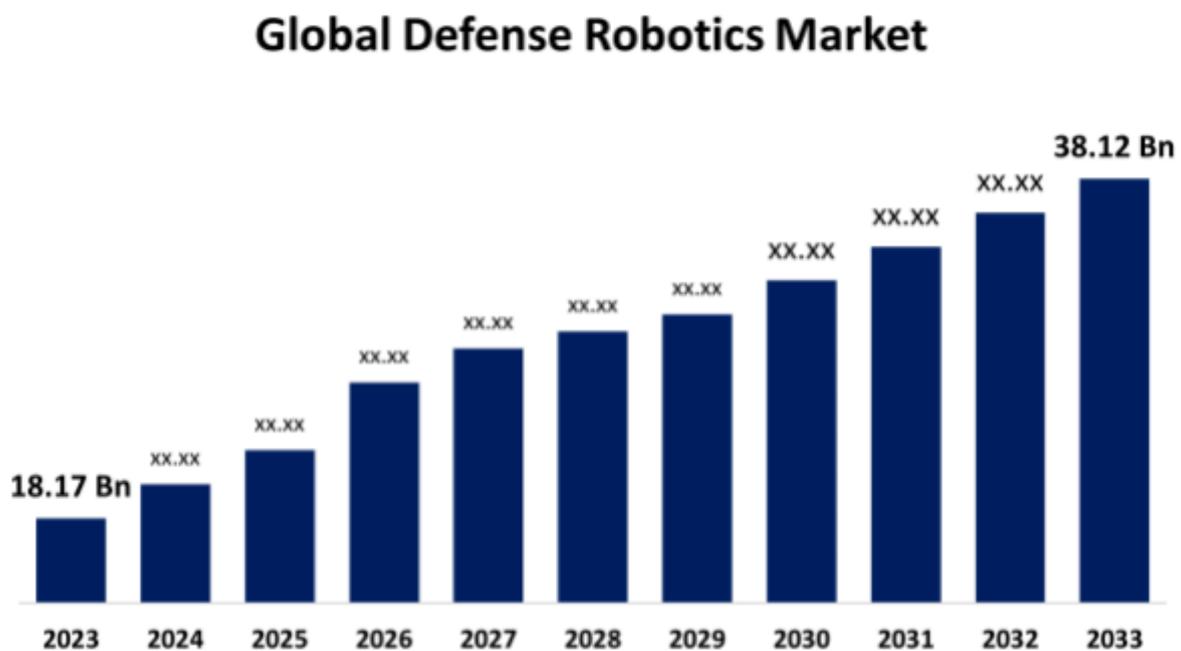
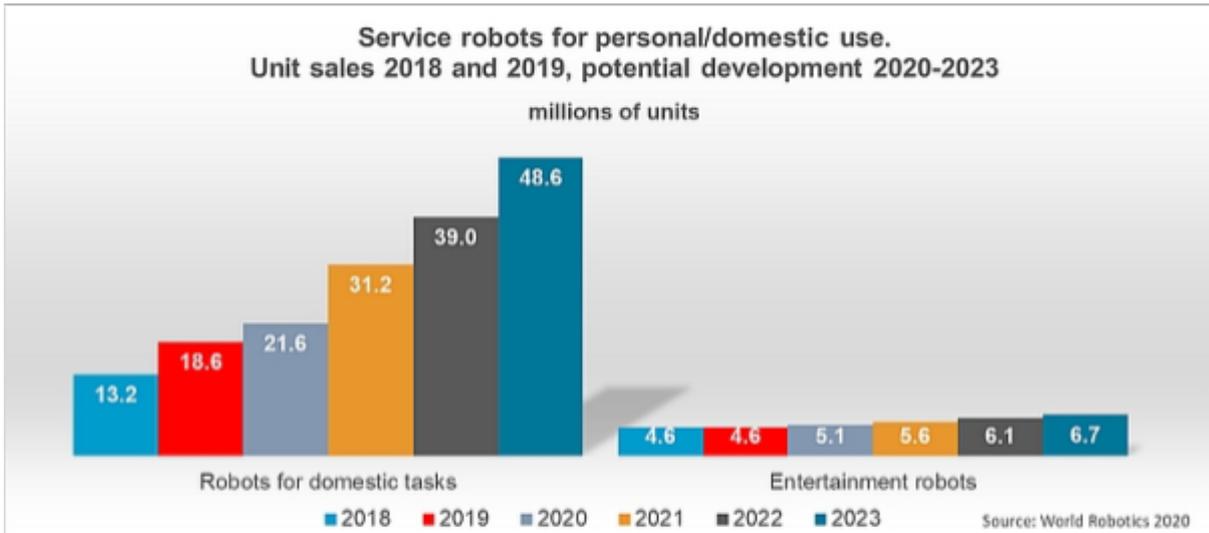


Fig. 3. Tamaño de mercado estimado de los robots de defensa. Fuente: Sphericals Insights [3].

En el ámbito doméstico y de ocio también hay necesidad de robots accesibles. En la figura 2 se muestra que se venden más unidades de robots para tareas domésticas que para ocio pero se ve que el volumen individual de ambos aumentan conforme los años.



*Fig. 2: Ventas de robots de uso doméstico y personal. Fuente: International Federation of Robotics [1].*

Esta descompensación se debe a la búsqueda del ser humano de encontrar soluciones rápidas a tareas del hogar que le requerirían más tiempo. Esto hace que sea aún más interesante invertir en opciones de entretenimiento. Aunque esté a veces subestimado, el ocio y el entretenimiento puede ayudar a mejorar el desarrollo integral de las personas, especialmente en los niños. Por ejemplo, los robots controlados mediante gestos podrían ayudar a los jóvenes con discapacidades en los dedos a aumentar sus habilidades motrices y cognitivas además de reforzar la inclusión social.

## *Estado del arte*

El estado del arte en robótica móvil y manipulación se puede dividir en tres categorías relevantes para nuestro proyecto: (1) vehículos todoterreno con capacidad de manipulación, (2) interfaces de control basadas en gestos, y (3) sistemas de percepción visual para interacción con objetos.

**Vehículos todoterreno con manipulación:** La seguridad siempre ha sido importante; por eso, con el paso de los años hemos ido avanzando y se han creado sistemas o métodos más seguros para los operarios. Uno de los primeros robots utilizados para desactivación de bombas fue la Carretilla, diseñada en 1972 por el Ejército Británico [4]. Es un robot controlado a distancia para evitar daños o pérdidas humanas ante cualquier peligro de explosión.



Fig. 3 : Carretilla usada por el Ejército Británico. Fuente: Wikipedia [4]

Actualmente los vehículos antiexplosivos suelen llevar un brazo robótico con más grados de libertad que la carretilla. Eso le permite generar movimientos más precisos y seguros a la hora de desactivar bombas como VALI [5]. Sin embargo, sus brazos manipuladores suelen ser grandes y pesados lo que los limita a cualquier otra tarea que no sea fuera al aire libre.

**Interfaces de control por gestos:** No es novedad que el control por gestos está creciendo. Un ejemplo es el mando de la Nintendo Wii, creada para innovar con sus juegos exclusivos de deportes [6]. El mando incluye un IMU que mide aceleración lineal permitiendo que el movimiento de la manos y el brazo sea intuitivo a la hora de jugar. Posteriormente se han

creado proyectos de robótica utilizando el mando de Wii debido a su comunicación Bluetooth, control por botones y movimiento, y todo eso por muy bajo precio [7].

Muchos dispositivos comerciales usan IMUs para control gestual, tanto para interfaces digitales más que a robótica física, con pesos ligeros y costes moderados. Investigaciones recientes han avanzado en el control de brazos robóticos mediante gestos [8], aunque no se han aplicado ampliamente a vehículos móviles para seguridad o vigilancia.

**Percepción visual:** Los sistemas robóticos modernos incluyen cámaras y detección de objetos por color. Se utilizan cámaras porque se reconocen como super sensores, algunas permiten capturar profundidad pudiendo visualizar el entorno en 3D [9]. El problema de esto es que las cámaras que se utilizan suelen ser caras porque incorporan controladores dentro del mismo.

En cuanto a los componentes utilizados en cada una de estas categorías, destaca el IMU (Unidad de Medición Inercial). Wii remote integra el ADXL330 de Analog Devices, un sensor de 3 ejes que mide la aceleración lineal. Por su parte, en el caso del vehículo, los ejemplos previos muestran mayor interés por el uso de cadenas que por las ruedas. Este diseño reduce la necesidad de incorporar motores adicionales, reduciendo el coste, y permitiendo mejor movilidad por terrenos irregulares, como el suelo con piedras, tierra o césped. Los robots como VALI [5] son híbridos, es decir, tienen una plataforma móvil con un manipulador encima. Para el aumento del torque se usan servomotores con reductoras en el brazo robótico y sus versiones suelen tener entre 4 o 5 grados de libertad. Esto permite que el brazo pueda transportar objetos o manejar tareas difíciles a distancia. El chasis fue construido a partir de chapa de duraluminio ANSI 6063 de 0.25” de espesor. También incluye una cámara panorámica para visualizar en tiempo real el entorno.

Los proyectos creados tienen en sí un nicho más específico. No existe un sistema integrado que combine un vehículo con cadenas, un brazo de 4 grados de libertad, control gestual intuitivo mediante IMUs y percepción de color, todo en una plataforma accesible tanto para seguridad (desactivación de objetos peligrosos, manipulación de tóxicos, vigilancia) como para ocio. Esto hace deseable nuestra solución propuesta.

## *Solución propuesta*

Se propone un sistema robótico integrado que está compuesto por un coche con cadenas, impulsado por dos motores DC, y un brazo robótico de 4 grados de libertad equipado con una pinza y una cámara montada en su extremo. El vehículo y el brazo se controlarán de forma intuitiva mediante dos IMUs colocadas en los brazos del usuario, permitiendo movimientos naturales de las manos para dirigir el coche y manipular el brazo. Se dispondrá de dos modos para controlar el coche y el brazo, pudiendo elegir gracias a una pantalla táctil integrada. La cámara proporcionará visión en tiempo real que servirá para vigilar o controlar el sistema a larga distancia, mientras que un sistema de percepción basado en visión artificial detectará y clasificará objetos por color, habilitando tareas como identificar y recoger objetos específicos del suelo.

El diseño está orientado a dos casos de uso principales: (1) ocio, como un robot interactivo para explorar y manipular entornos de manera divertida y segura, y (2) seguridad, como desactivar objetos peligrosos, manipular sustancias tóxicas o vigilar zonas de difícil acceso. Esta solución aborda los problemas anteriores del peso y coste de los proyectos ya creados para seguridad y la poca actividad de robots móviles con brazo robótico controlado por gestos de la mano.

# ALCANCE

## *Objetivos*

OBJ.1: Proporcionar un control intuitivo y natural a través de gestos de la mano

Se busca permitir que los usuarios sean capaces de dirigir tanto el vehículo móvil como el brazo robótico a través de movimientos gestuales simples y precisos. Para ello, se utilizarán IMUs en las manos del usuario para garantizar una buena experiencia de uso tanto en aplicaciones profesionales como recreativas.

OBJ.2: Garantizar la manipulación precisa de objetos con el brazo

El sistema debe ser capaz de identificar y recoger objetos específicos del entorno de trabajo mediante la pinza, el brazo robótico y el sistema de visión mediante la cámara.

OBJ.3: Movimiento firme en diferentes terrenos

El vehículo con cadenas debe ser capaz de desplazarse de manera eficiente y estable en superficies irregulares, ampliando así su utilidad en el campo de la exploración y vigilancia.

OBJ.4: Facilitar aplicaciones duales de ocio y seguridad

El sistema debe ser funcional y confiable para tareas profesionales, pero también divertido y seguro para poder ser utilizado en ocio.

## *Requisitos*

Para asegurar el cumplimiento de los objetivos mencionados anteriormente y abordar eficazmente el problema planteado, siendo fundamental definir ciertos requisitos a cumplir.

### *Requisitos funcionalidades del proyecto*

**F.1-** Control mediante gestos del vehículo y brazo

Capacidad para interpretar señales de los dos IMUs, los cuales están colocados en las manos de los usuarios, para controlar la dirección y velocidad del vehículo móvil.

#### **Prestaciones adyacentes**

- **P.1.1-** Latencia del control gestual del vehículo  
La capacidad de respuesta entre el movimiento del usuario y el desplazamiento del sistema no debe superar los — .
- **P.1.2-** Distancia de control  
El usuario deberá ser capaz de controlar el sistema a — distancia.

## F.2- Transmisión de video en tiempo real

La cámara deberá transmitir en vivo al usuario para facilitar el control y supervisión del entorno

### Prestaciones adyacentes

- **P.2.-** Calidad y latencia de la transmisión de video

La cámara debe transmitir video en vivo con una velocidad mínima de ---p y un retraso no superior a ---.

## F.3- Movilidad en terrenos irregulares

El vehículo debe poder desplazarse sobre sobre diferentes superficies utilizando las cadenas accionadas con motores.

### Prestaciones adyacentes

- **P.3-** Velocidad del vehículo

El vehículo alcanza una velocidad de ---m/s en terreno plano y superar obstáculos de ---cm de altura e inclinaciones de hasta ---°.

REQUISITO	F.1	P1.1	P1.2	F.2	P.2	F.3	P.3
OBJETIVO	OBJ.1	OBJ.2	OBJ.2	OBJ.2	OBJ.2	OBJ.3	OBJ.3
PRIORIDAD	ALTA	ALTA	MEDIA	MEDIA	BAJA	ALTA	BAJA

## Requisitos de diseño

### D.1- Tamaño y peso del sistema

El vehículo tiene un tamaño de --- cm de largo y --- cm de ancho, y el brazo debe tener una longitud de --- cm. Además, no debe exceder los ---kg para garantizar la portabilidad.

### D.2- Resistencia al entorno

El sistema debe ser capaz de resistir las condiciones ambientales previstas, como variaciones de temperatura, humedad y vibración, para garantizar su fiabilidad en entornos reales.

REQUISITO	D.1	D.2
OBJETIVO	OBJ.4	OBJ.3
PRIORIDAD	MEDIA	MEDIA

### ***Requisitos de operación***

#### **O.1- Interfaz intuitiva**

El sistema debe ser fácil de utilizar para los usuarios, sin necesidad de formación técnica al respecto.

#### **O.2- Comunicación inalámbrica**

El sistema usará el protocolo ESP-NOW garantizando una comunicación estable entre el control de las manos y el robot.

REQUISITO	O.1	O.2
OBJETIVO	OBJ.1	OBJ.2
PRIORIDAD	ALTA	ALTA

### ***Requisitos eléctricos***

#### **E.1- Consumo**

No debe sobrepasar los — W de consumo totales.

#### **E.2- Duración de la batería**

El sistema debe ser capaz de funcionar durante al menos — min, con un tiempo de recarga no superior a —.

REQUISITO	E.1	E.2
OBJETIVO	OBJ.4	OBJ.4
PRIORIDAD	MEDIA	MEDIA

## ***Descripción de subsistemas***

### ***Coche***

Este subsistema tendrá el propósito de permitirle al robot desplazarse por la mayoría de terrenos y de alojar el microprocesador y el sistema de alimentación del sistema.

Se compondrá de: motores, chasis, correas, batería, microcontrolador esp32.

Tanto la batería como el microcontrolador serán comunes a los motores del coche y los servos del brazo.

El microcontrolador del coche se comunicará con el subsistema de control a distancia mediante la comunicación que se evalúe más apta para la tarea.

Las correas y partes del chasis serán impresas en 3D.

### **Brazo**

Se tratará de un robot que se moverá gracias a 4 servomotores controlados por el microcontrolador que residirá en el chasis, en el que se ejecutarán los algoritmos de cinemática inversa.

### **Control a distancia**

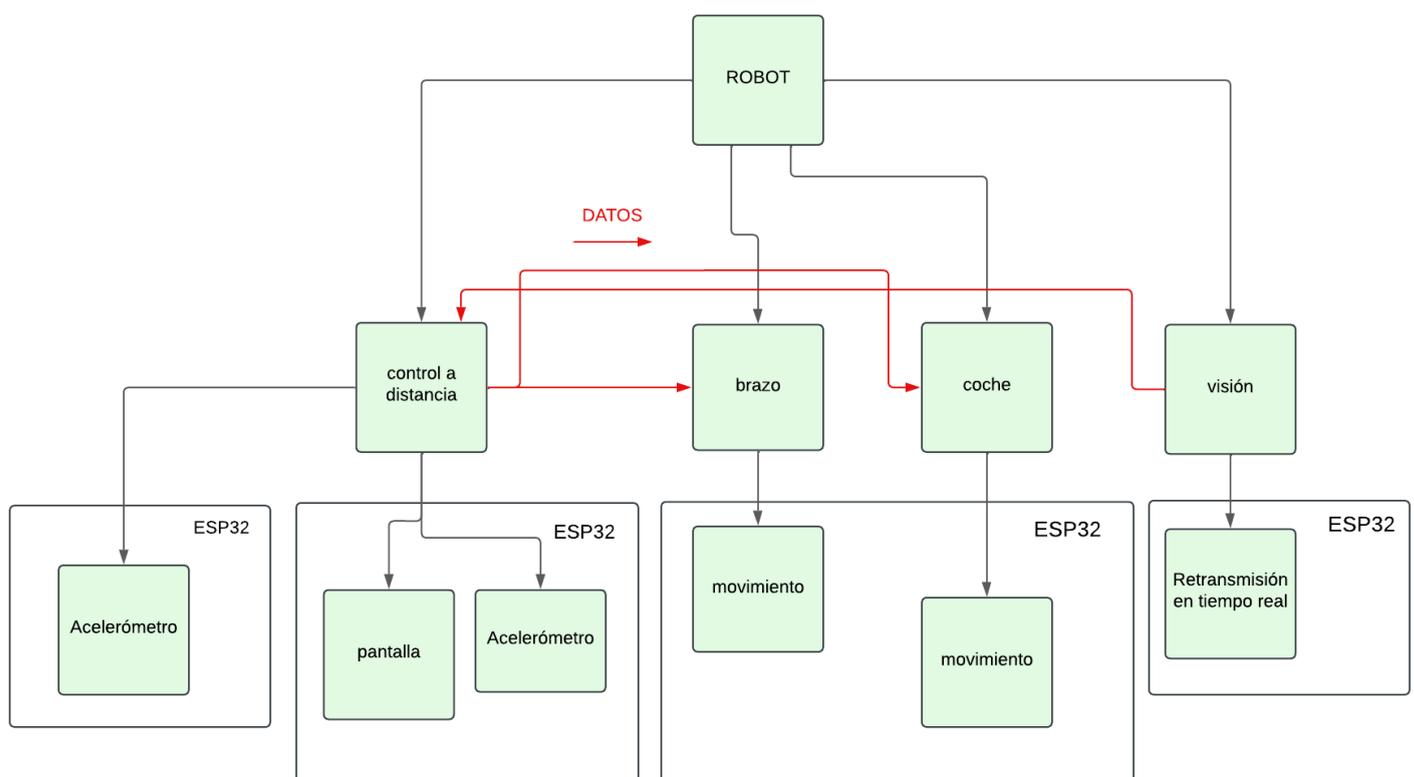
Permitirá controlar de forma intuitiva el robot desde una distancia segura, teniendo retransmisión en tiempo real de la cámara.

Se implementará con dos guantes que detectarán la inclinación de las manos, con las que se controlará el movimiento del coche y el brazo.

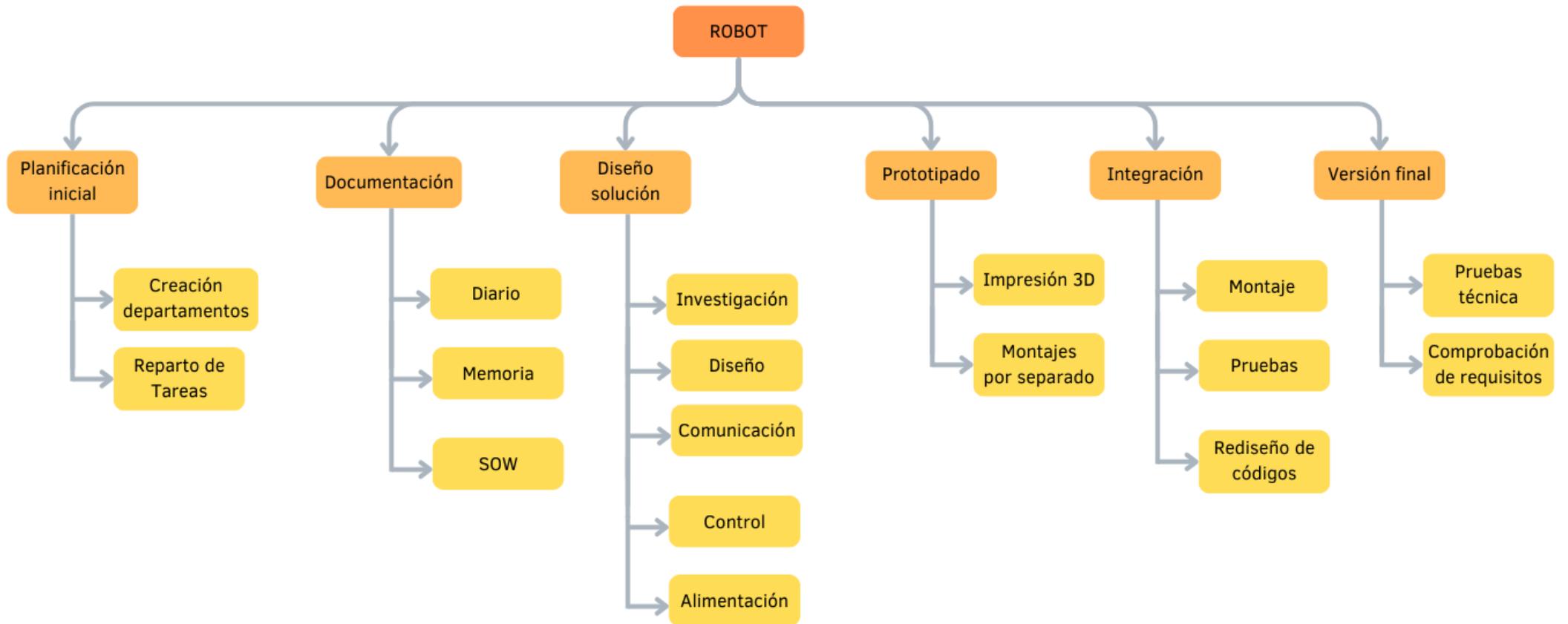
En uno de los guantes habrá una pantalla que aumentará la interfaz de usuario.

### **Visión**

Será el subsistema que se encargará de todo lo relacionado con la cámara, tanto de la captura de las imágenes y su transmisión como de la alimentación de la placa y su integración en el brazo.



# *Work Breakdown Structure*



# PERIODO Y PLANIFICACIÓN

## *Periodo de trabajo*

La duración del proyecto será de 3 meses y 18 días, inicializándose el miércoles 5 de febrero de 2025 y finalizando el viernes 23 de mayo. Asimismo, el periodo del trabajo se puede subdividir en subperiodos o pequeñas fases, principalmente en 3:

### *1ª Fase: Desarrollo de la idea.*

Esta fase consta del proceso de elección del proyecto, es decir, elegir aquel que se ajuste mejor a nuestras necesidades y expectativas. Así como del detalle en cada uno de los aspectos de nuestro proyecto.

Para la elección de nuestro proyecto, además de una lluvia de ideas inicial, hicimos un rápido estudio acerca de la documentación que ya existía sobre proyectos similares, para poder apoyarnos y orientarnos a la hora de determinar qué camino era más óptimo para su realización. Asimismo, esbozamos una idea general de las tareas que habría que ir haciendo así como una estimación de los componentes necesarios y un presupuesto aproximado, con el objetivo de poder predecir a priori, si podríamos llegar a salirnos del presupuesto (80€) y del margen con el que contábamos para ello. Finalmente comparamos proyectos, nos asesoramos sobre su viabilidad de acuerdo al tiempo que teníamos para entregarlo y escogimos.

A continuación hubo un proceso de refinamiento en el que empezamos a pulir las ideas que ya teníamos yendo desde un nivel más abstracto hacia uno más concreto y detallado.

El proceso de selección duró días desde el miércoles 5 de febrero hasta el martes 11 de febrero.

### *2ª Fase: Construcción del coche y del brazo robótico.*

En este periodo ideamos un diseño a grosso modo el brazo robótico indicando su número de grados de libertad, eslabones y tipos de articulaciones. Del mismo modo planteamos el diseño del cochecito y escogimos las dimensiones que ambos tendrían que tener. Nuestra idea es imprimir las piezas en 3D del brazo robótico y diseñar un chasis grande y resistente al coche capaz de soportar el peso del brazo. Asimismo, para conseguir que nuestro robot pueda moverse por terrenos rocosos hemos decidido incluir una cadena dentada a las ruedas inspirándose para ello en el diseño de las ruedas de los tanques.

### *3ª Fase: Pruebas*

Como por el momento, el departamento de construcción está diseñando el brazo y el coche, para evitar que se produzca un cuello de botella, el resto del equipo está desarrollando las distintas comunicaciones y programas de recogida de datos y los estamos probando en

prototipos con el fin de ir verificando lo programado hasta el momento y poder seguir avanzando a pesar de no poder contar aún con el coche y el brazo.

Este periodo de pruebas con el brazo y coche definitivo comenzará el viernes 4 de abril y finalizará el viernes 23 de mayo.

## *Calendario de entregables*

### *Versión Preliminar del SOW (Statement of Work) para Revisión*

- **Fecha:** 3 de abril de 2025
- **Descripción:** Entrega de la versión inicial del documento SOW para su revisión por parte de los interesados, incluyendo objetivos, alcance preliminar y plan de trabajo.

### *Versión Corregida del SOW*

- **Fecha:** Por determinar
- **Descripción:** Entrega de la versión revisada y ajustada del SOW, incorporando retroalimentación recibida tras la revisión de la versión preliminar.

### *Informe de Progreso 1*

- **Fecha:** Por determinar
- **Descripción:** Presentación de un informe intermedio que detalle los avances realizados en el proyecto, incluyendo hitos alcanzados, desafíos identificados y próximos pasos.

### *Demostración del Proyecto*

- **Fecha:** 20 de mayo de 2025
- **Descripción:**
  - **Implementación Física del Proyecto:** Exhibición funcional del prototipo o sistema desarrollado.
  - **Transparencias de la Presentación:** Material visual de apoyo para la exposición del proyecto.
  - **Vídeo(s) de Demostración:** Grabación que muestre el funcionamiento del proyecto, destacando sus características clave.

### *Documentación Final*

- **Fecha:** 4 de junio de 2025
- **Descripción:** Entrega del paquete completo de documentación final, que incluye:
  - **Versión Final del SOW:** Documento definitivo con alcance, objetivos y resultados consolidados.

- **Memoria Descriptiva de Resultados:** Resumen narrativo de los logros, lecciones aprendidas y evaluación del proyecto.
- **Documentación Técnica de Bajo Nivel:** Detalles técnicos del diseño, implementación y especificaciones
- **Autoevaluación de Buenas Prácticas:** Reflexión sobre el cumplimiento de estándares y metodologías durante el desarrollo.

## *Análisis de riesgos*

Para este apartado, evaluaremos los posibles problemas (riesgos) que podrían inducir un error en la funcionalidad del robot. Para ello distinguiremos distintos riesgos:

### *Riesgos Técnicos*

Problemas en el reconocimiento de gestos, latencia en la comunicación, fallos en la transmisión de video, consumo de batería elevado.

#### **1.1. Precisión y Latencia en el Reconocimiento de Gestos**

Los acelerómetros pueden registrar movimientos erróneos debido a vibraciones o interferencias externas o incluso debido a movimientos imprecisos por parte del usuario. Esto afectaría la precisión del control del coche y del brazo robótico.

Además de hacer pruebas y añadir en el código un rango umbral en torno a los puntos claves de operación del robot (los giros o el gesto de parada del robot) para compensar los posibles movimientos imprecisos que realice el usuario, se podría incorporar filtros Kalman para la eliminación del ruido .

Del mismo modo, la latencia en la transmisión de datos desde los guantes al coche puede afectar la sincronización entre el gesto y la respuesta del robot.

Con el objeto de mitigar este efecto, hemos decidido utilizar el WIFI Direct ESP NOW que es uno de los protocolos mejor desarrollados entre ESP creado por la empresa Expressif e incorporar varios microcontroladores para evitar una sobrecarga en el procesamiento de datos.

#### **1.2. Fallos en la Comunicación Inalámbrica**

La pérdida de señal entre el usuario y el robot en entornos con interferencias electromagnéticas o largas distancias supondría un grave problema. Por este motivo, adecuándose a las circunstancias en las que se emplearía el robot, se utilizarían protocolos de comunicación más robustos como Lora, especializado en largas distancias.

#### **1.3. Limitaciones de la Cámara ESP y las Cámaras en el Coche/Brazo**

Si la velocidad de procesamiento de la imagen se bajaría la calidad de la imagen.

#### 1.4. Energía y Duración de la Batería

El consumo elevado de energía en el coche y el brazo robótico podría reducir el tiempo de operación. Para paliar este riesgo, se optimizarán los recursos y el consumo de energía, eligiendo baterías de larga duración.

**TABLA DE RIESGOS TÉCNICOS**

<b>PROBLEMA</b>	<b>PROBABILIDAD</b>	<b>PERJUICIO</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
<i>Fallos en la comunicación inalámbrica (en el caso de que la situación u objetivo implique comunicación a largas distancias)</i>	<b>MEDIA</b>	<b>ALTO</b> <i>Perderíamos el control sobre el robot, dejando éste de cumplir sus funcionalidades</i>	<i>Usar protocolos de comunicación robustos y de larga distancia como LORA</i>
<i>Latencia en reconocimiento gestos</i>	<b>MEDIA</b>	<b>MEDIO</b> <i>Asincronismo entre el gesto y la respuesta del robot. Comportamiento o respuesta con retardo del robot no deseado</i>	<i>Adición de umbrales de seguridad en el código para eliminar el efecto del ruido</i>
<i>Energía y duración de la batería</i>	<b>ALTA</b>	<b>MEDIO</b>	<i>Optimización de recursos y uso de batería de larga duración</i>
<i>Velocidad de procesamiento de la cámara lenta</i>	<b>BAJA</b>	<b>BAJA</b>	<i>Escoger la cámara adecuado y en caso de ser insuficiente reducir la calidad de la imagen</i>

#### *Riesgos de Seguridad*

Posibles golpes del brazo robótico, pérdida de control del coche, acceso no autorizado a los datos.

#### 2.1. Seguridad del Usuario

Existe la posibilidad de que el brazo robótico golpee accidentalmente objetos o a personas debido a movimientos bruscos. Para solucionarlo, implementaremos en el código límites en la velocidad y fuerza del brazo, además de sensores de proximidad. Para evitar riesgo de lesiones en el usuario por movimientos inesperados del coche o brazo, añadiremos una parada de emergencia en caso de pérdida de control.

## 2.2. Seguridad de Datos y Privacidad

Para aplicaciones a gran escala o confidenciales encriptaríamos las comunicaciones inalámbricas para garantizar que ningún tercero pueda acceder al control del robot y lo manipule.

**TABLA DE RIESGOS DE SEGURIDAD**

<b>PROBLEMA</b>	<b>PROBABILIDAD</b>	<b>PERJUICIO</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
<i>Seguridad del usuario</i>	<b>BAJA</b>	<i>ALTA Lesiones del usuario</i>	<i>Límites de velocidad y fuerza en el código</i>
<i>Seguridad de datos y privacidad</i>	<b>MEDIA</b>	<i>ALTA Filtraciones de información confidencial y plagios</i>	<i>Encriptación de las comunicaciones inalámbricas</i>

### *Riesgos Ambientales y de Uso*

Mal desempeño en terrenos difíciles, exposición a condiciones extremas.

#### 3.1. Factores Externos en Aplicaciones de Exploración

La exposición del coche a condiciones extremas como humedad, polvo o temperaturas extremas puede resultar un factor muy importante en la vida útil del proyecto.

No obstante, se solventará diseñando la carcasa con materiales resistentes a la intemperie.

**TABLA DE RIESGOS AMBIENTALES Y DE USO**

<b>PROBLEMA</b>	<b>PROBABILIDAD</b>	<b>PERJUICIO</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
<i>Exposición a la intemperie</i>	<b>ALTA</b>	<i>Deterioro de la estructura del robot</i>	<i>Diseño de carcasa con materiales resistentes</i>

## *Riesgos de Producción y Costos*

Escasez de componentes, costos elevados de fabricación.

### **4.1. Disponibilidad de Componentes y mantenimiento**

Uno de los riesgos más importantes que pueden resultar un factor limitante para el desarrollo del proyecto es el mantenimiento del mismo. Esto es crucial pues si algún dispositivo se quema, deja de funcionar o simplemente se rompe se debe contar con más unidades de repuesto. El mantenimiento no sólo garantiza el correcto funcionamiento del robot sino que también permite alargar su vida útil.

Por este motivo, en nuestro presupuesto hemos destinado una parte al mantenimiento, para posibles reparaciones por rotura o quema de componentes (situaciones que se dan especialmente durante la fase de pruebas). Igualmente para garantizar que en el inventario hay suficientes componentes, en los pedidos que se están realizando, se están pidiendo un número ligeramente superior de componentes a los necesarios.

Para propósitos a gran escala, se contaría con múltiples proveedores para mitigar este riesgo.

**TABLA DE RIESGOS DE PRODUCCIÓN Y COSTOS**

<b>PROBLEMA</b>	<b>PROBABILIDAD</b>	<b>PERJUICIO</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
<i>Disponibilidad de componentes y mantenimiento</i>	<i>ALTA</i>	<i>MUY ALTA Supondría la paralización del proyecto (test, espera a la llegada de nuevos componentes...)</i>	<i>Añadir un presupuesto de mantenimiento y contar en el inventario con un par de componentes de cada tipo de reserva</i>

## *Riesgos en la Experiencia del Usuario*

Dificultad de aprendizaje.

### **5.1. Curva de Aprendizaje Elevada**

Se puede dar el caso de que algunos usuarios con movilidad reducida puedan requerir tiempo para adaptarse a los gestos de control.

Para agilizar este proceso de adaptación se podrían incluir modos de entrenamiento y opciones de calibración personalizadas así como juegos interactivos.

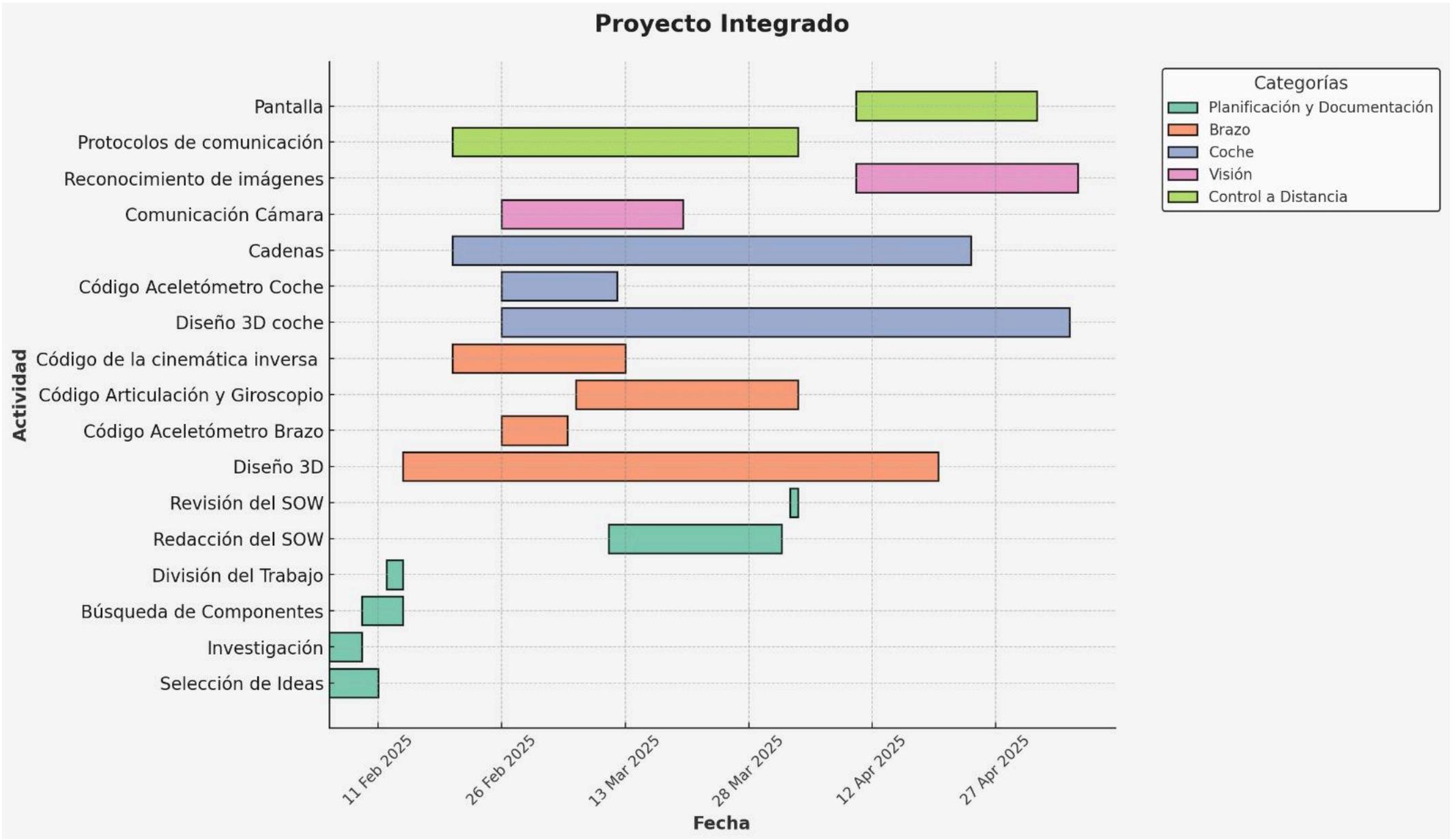
## 5.2. Complejidad en el control

Si el control con gestos es muy complejo, los usuarios podrían enfrentar dificultades para adaptarse e interactuar con el sistema. Esto podría perjudicar la acogida de nuestro producto en el mercado. Por ello, se diseñará una interfaz amigable y se adaptarán los controles según la edad.

**TABLA DE RIESGOS EN LA EXPERIENCIA DEL USUARIO**

<b>PROBLEMA</b>	<b>PROBABILIDAD</b>	<b>PERJUICIO</b>	<b>SOLUCIÓN</b>
<i>Curva de aprendizaje elevada</i>	<b>BAJA</b>	<b>MEDIO</b> <i>Un largo proceso de adaptación puede llevar al usuario a dejar de utilizar el producto y sustituirlo por alternativas más rápidas</i>	<i>Límites de velocidad y fuerza en el código</i>
<i>Complejidad del robot</i>	<b>MEDIA</b>	<b>BAJO</b> <i>Si el control del robot es muy complicado el usuario podría enfrentar dificultades para adaptarse e interactuar con el sistema. Ambas situaciones supondrían una mala acogida de nuestro producto en el mercado, bajando el número de ventas y produciéndose pérdidas en la empresa.</i>	<i>Diseño amigable y animado para niños adaptando la sensibilidad del control dependiendo de la edad del usuario.</i>

# Diagrama de Gantt



# CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

El proyecto será aceptado cuando se cumplan los requisitos obligatorios estén implementados y verificado.

## *Matriz de verificación*

<i>Requisito</i>	<i>Nombre del requisito</i>	<i>Verificación</i>				<i>Nombre Prueba</i>	<i>Estado</i>
		<i>I</i>	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>T</i>		
F.1	Control gestual		X		X	test 2, test 3, test 11, test 4, test 5, test 14, test 15	En curso
P1.1	Latencia control		X	X	X	test 9	En curso
P1.2	Distancia de control				X	test 17	Pendiente
F.2	Transmisión de video en tiempo real		X	X	X	test 8, test 12	En curso
P.2	Latencia transmisión de video				X	test 12	Pendiente
F.3	Movilidad				X	test 13	Pendiente
P.3	Velocidad				X	test 1, test 10	Pendiente
D.1	Tamaño y peso	X	X			Diseño de dimensiones y peso	En curso
D.2	Adaptación entorno			X	X	test 13	Pendiente
O.1	Interfaz intuitiva		X		X	test 16	Pendiente
O.2	Comunicación inalámbrica				X	test 6, test 7	En curso
E.1	Consumo		X		X	test 18	Pendiente
E.2	Autonomía				X	test 18	Pendiente

## *Plan de pruebas*

<i>Número de test</i>	1
<i>Tipo de test</i>	Prueba motores
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	Taller de la asociación <a href="#">ESIBot</a>
<i>Item probado</i>	Motor DC desconocido
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Conectar una fuente de alimentación variable al motor e ir incrementando el valor de esta hasta que se observe el inicio de la rotación del eje. Continuar aumentando el voltaje hasta que la velocidad de giro se vuelva estable y la corriente consumida deje de aumentar significativamente
<i>Duración de la campaña de test</i>	10 minutos
<i>Fecha de la campaña de test</i>	13/02/2025
<i>Test completado</i>	Sí

<i>Número de test</i>	2
<i>Tipo de test</i>	Funcionamiento acelerómetros
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	En cualquier lugar
<i>Item probado</i>	diferentes acelerómetros
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se probarán varios acelerómetros para verificar su funcionamiento y se seleccionara el más adecuado según necesidad y simplicidad
<i>Duración de la campaña de test</i>	1-2 horas
<i>Fecha de la campaña de test</i>	14/02/2025
<i>Test completado</i>	Sí

<i>Número de test</i>	3
<i>Tipo de test</i>	Funcionamiento acelerómetro coche
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	Cualquier lugar
<i>Item probado</i>	Acelerómetro ADXL345 + coche prototipo
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se comprobará que el coche prototipo responde adecuadamente a las acciones del acelerómetro (izquierda,derecha, adelante y atrás).
<i>Duración de la campaña de test</i>	1-2 horas
<i>Fecha de la campaña de test</i>	14/02/2025
<i>Test completado</i>	Sí

<i>Número de test</i>	4
<i>Tipo de test</i>	Verificación de la cinemática
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	Cualquier lugar con un ordenador con acceso a entorno de Matlab y simulink
<i>Item probado</i>	Ecuaciones de la Cinemática Inversa
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Mediante diversas simulaciones , cálculos y gráficas se comprueba que la cinemática inversa es correcta
<i>Duración de la campaña de test</i>	2-3 horas
<i>Fecha de la campaña de test</i>	31/03/2025
<i>Test completado</i>	Sí (posible revisión)

<i>Número de test</i>	5
<i>Tipo de test</i>	Brazo en Bucle abierto (incrementos)
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	En cualquier lugar
<i>Item probado</i>	Acelerómetros ADXL345 + brazo + Esp32
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se probaran los códigos correspondientes que calculan los incrementos de posición del brazo a partir del acelerómetros y se verá si los servos responden correctamente consiguiendo un movimiento robusto del brazo
<i>Duración de la campaña de test</i>	1-2 horas
<i>Fecha de la campaña de test</i>	11/04/2025
<i>Test completado</i>	No

<i>Número de test</i>	6
<i>Tipo de test</i>	Comunicación ESP-NOW acelerómetro coche
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	En cualquier lugar disponiendo del hardware necesario
<i>Item probado</i>	2 Placas ESP32+ acelerómetro ADXL345
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Usando un coche prototipo, comprobar que los datos que recibe el Esp del acelerómetro son enviados e interpretados correctamente por el Esp que controla el coche, consiguiendo los movimientos deseados
<i>Duración de la campaña de test</i>	3 horas
<i>Fecha de la campaña de test</i>	26/02/2025
<i>Test completado</i>	Sí

<i>Número de test</i>	7
<i>Tipo de test</i>	Comunicación ESP32 sistema global
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	En cualquier lugar disponiendo del software necesario
<i>Item probado</i>	número a determinar de ESP32+ 2 Acelerómetros ADXL345 + pantalla de control (por determinar)
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se comprobará que se interpretan los datos de los acelerómetros correctamente y según los modos de funcionamiento seleccionados en la pantalla de control. El movimiento coche vendrá dictado por uno de los acelerómetros, y el movimiento del brazo dictado por los dos acelerómetros a la vez
<i>Duración de la campaña de test</i>	3-4 horas
<i>Fecha de la campaña de test</i>	***
<i>Test completado</i>	No

<i>Número de test</i>	8
<i>Tipo de test</i>	Transmisión de video
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	Cualquier lugar que disponga de wifi
<i>Item probado</i>	Esp32 cam
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se comprobará que se consigue ver lo que capta la cámara mediante el monitor de un PC
<i>Duración de la campaña de test</i>	1 hora
<i>Fecha de la campaña de test</i>	26/02/2024
<i>Test completado</i>	Sí

<i>Número de test</i>	9
<i>Tipo de test</i>	Latencia del control
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	En cualquier lugar
<i>Item probado</i>	Sistema global
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se comprobará que el control y la comunicación es lo suficientemente rápida realizando diferentes movimientos en los acelerómetros y operando en los diferentes modos de operación
<i>Duración de la campaña de test</i>	1-2 horas
<i>Test completado</i>	No

<i>Número de test</i>	10
<i>Tipo de test</i>	Velocidad
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	Cualquier lugar amplio
<i>Item probado</i>	Diseño coche final +motores
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se comprobará que el sistema es capaz de alcanzar la velocidad deseada
<i>Duración de la campaña de test</i>	30 minutos-1 hora
<i>Fecha de la campaña de test</i>	*** por determinar
<i>Test completado</i>	No

<i>Número de test</i>	11
<i>Tipo de test</i>	Prueba Servos
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	En cualquier lugar
<i>Item probado</i>	Servos
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se verificará que los servos no están defectuosos
<i>Duración de la campaña de test</i>	10-30 min
<i>Fecha de la campaña de test</i>	10/04/2025
<i>Test completado</i>	No

<i>Número de test</i>	12
<i>Tipo de test</i>	Retransmisión de video en tiempo real
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	En cualquier lugar
<i>Item probado</i>	Cámara por determinar
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se comprobará que se retransmite el video en tiempo real
<i>Duración de la campaña de test</i>	1-2 horas
<i>Fecha de la campaña de test</i>	*** por concretar
<i>Test completado</i>	No

<i>Número de test</i>	13
<i>Tipo de test</i>	Prueba movimiento en entornos variados
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	Cualquier superficie que pueda oponer resistencia al movimiento.
<i>Item probado</i>	Conjunto Brazo-Coche; sistema de correas
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se probará el movimiento en distintos entornos, ya sea césped, arena, etc, del coche y del conjunto coche brazo
<i>Duración de la campaña de test</i>	30-60 minutos
<i>Fecha de la campaña de test</i>	*** por concretar
<i>Test completado</i>	No

<i>Número de test</i>	14
<i>Tipo de test</i>	Movimiento Brazo por cinemática inversa
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	En cualquier lugar
<i>Item probado</i>	Brazo + acelerómetros + Esp32
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se comprobará que los códigos correspondientes generan la señal de control adecuada para el desplazamiento del brazo del consiguiendo el movimiento deseado
<i>Duración de la campaña de test</i>	1-3 horas
<i>Fecha de la campaña de test</i>	*** por concretar
<i>Test completado</i>	No

<i>Número de test</i>	15
<i>Tipo de test</i>	Control Gestual Global
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	Espacio abierto
<i>Item probado</i>	Sistema final obtenido
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se pondrá a prueba el sistema, evaluando si es capaz de desplazarse y hacer uso del brazo para coger objetos según sea indicado por los gestos (bucle abierto) o funcionando en bucle cerrado (especificación de referencias) y transmitir video
<i>Duración de la campaña de test</i>	1-2 horas
<i>Fecha de la campaña de test</i>	*** por concretar
<i>Test completado</i>	No

<i>Número de test</i>	16
<i>Tipo de test</i>	Interacción usuario-sistema
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	En cualquier lugar con margen de movimiento del sistema
<i>Item probado</i>	Sistema global final
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se reuniran voluntarios dispuestos a probar el sistema, se les indicará el funcionamiento y se analizará cómo los usuarios son capaces de interactuar con el sistema
<i>Duración de la campaña de test</i>	1-2 horas
<i>Fecha de la campaña de test</i>	*** por concretar
<i>Test completado</i>	No

<i>Número de test</i>	17
<i>Tipo de test</i>	Distancia de control
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	Espacio abierto
<i>Item probado</i>	Sistema global
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se comprobará el alcance de la comunicación
<i>Duración de la campaña de test</i>	30 min
<i>Fecha de la campaña de test</i>	por concretar
<i>Test completado</i>	No

<i>Número de test</i>	18
<i>Tipo de test</i>	Consumo y autonomía
<i>Instalaciones donde se prueba</i>	Espacio abierto
<i>Item probado</i>	Baterías y alimentación del sistema
<i>Procedimiento y duración del test</i>	Se hará un análisis del consumo en base a la alimentación necesaria y se pondrá a prueba la duración de la batería
<i>Duración de la campaña de test</i>	2-3 horas
<i>Fecha de la campaña de test</i>	por concretar
<i>Test completado</i>	No

# MATERIAL Y PRESUPUESTO

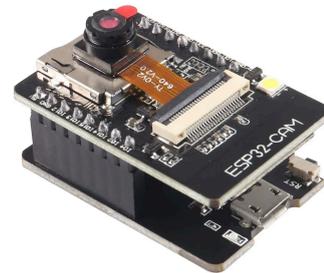
Para diseñar y construir el prototipo, es fundamental prestar especial atención a los materiales requeridos y a los costos involucrados, así como a los procesos de fabricación de las piezas. La creación de un documento detallado que incluya tanto los materiales como el presupuesto resulta clave para asegurar una gestión eficiente y efectiva del proyecto.

Se ha intentado utilizar todos los materiales disponibles por los integrantes del grupo para reducir los costes todo lo posible.

## *Material necesario*

A continuación, se presenta la lista de componentes y materiales definitivos elegidos para la construcción del prototipo.

- **Sensores:** estos sirven para proporcionar al robot la información necesaria del exterior para su correcto funcionamiento.
  - **ESP32-CAM:** este sensor se trata de un módulo de desarrollo basado en el microcontrolador ESP32, que integra una cámara **OV2640** y capacidades de conectividad mediante Wifi y Bluetooth. Este dispositivo es ideal para proyectos de visión artificial, videovigilancia, transmisión en tiempo real y reconocimiento de imágenes, ya que permite capturar fotos y videos con una resolución de hasta **1600x1200** píxeles.



- **Acelerómetro ADXL345:** es un sensor de movimiento en **tres ejes (x, y, z)** que permite medir la aceleración lineal. Es ampliamente utilizado en aplicaciones de detección de movimiento, inclinación y vibración, ya que proporciona datos precisos de hasta **16 bits**. Gracias a su bajo consumo de energía y su capacidad de operar con voltajes de 3.3V, el ADXL345 es una opción versátil y eficiente.



- **Pantalla:** es la herramienta con la que se va a poder elegir que tipo de control se quiere en el robot, si manual o automático. Se trata de una pantalla de **320x240**, ya que es un tamaño adecuado para llevar en la mano.

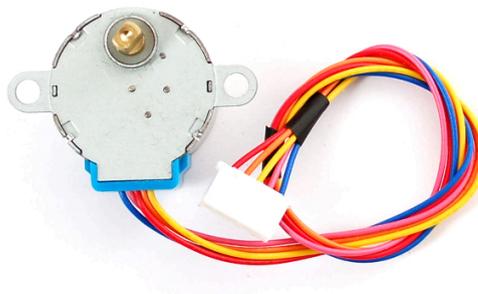


- **Actuadores:** Estos son los dispositivos que se encargan de convertir las señales eléctricas en acciones físicas. En este prototipo tenemos de distintos tipos:

- **Motores DC:** Serán los encargados de mover las ruedas, son unos motores — capaces de dar una potencia de —.
- **Servomotores MG996:** Se encargan del movimiento de las articulaciones del brazo robot. Se eligen unos servomotores — de 180° que permiten los movimientos necesarios del brazo.



- **Motor paso a paso:** se utiliza un motor paso a paso para el movimiento de rotación de la base del robot, permitiendo un mejor control de la posición de este.



- **Impresión 3D:** Gran parte de las piezas tanto del brazo como del coche se han realizado mediante impresión 3D, permitiendo el diseño completo de las piezas y el tamaño de estas.

Además, también se han diseñado con impresión 3D, las cadenas para un mejor agarre y movilidad en todo tipo de terreno del robot.



- **Procesador:** Para el proyecto vamos a utilizar el microcontrolador **ESP32**, conocido por su capacidad de conectividad Wifi y Bluetooth integrada. Cuenta con un procesador dual-core de **32 bits**, funciona a una frecuencia de hasta **240 MHz** y dispone de memoria **RAM** y almacenamiento **Flash** suficiente para ejecutar tareas complejas.



- **Batería:** Es necesaria una batería suficientemente ligera y pequeña para que no sea difícil de incorporar en el prototipo pero sea suficientemente potente para suministrar energía a toda las piezas.

# Presupuesto

A continuación, se presenta el desglose del presupuesto inicial del proyecto.

MATERIAL	CANTIDAD NECESARIA	CANTIDAD OBTENIDA	FECHA	MODO DE OBTENCIÓN	PRECIO
ESP32	2	4	-	Propio	2.90€
ESP32-CAM	1	2	-	Propio	3.89€
ADXL345	2	3	-	Propio	1.47€
BATERÍA	3	5	-	Propio	
PLA	-	-	-	Propio	
IMPRESORA 3D	1	2	-	Propio	
SERVOS	4	4	27/3/25	Comprado	3.89€
PANTALLA	1	1	02/4/25	Comprado	5.99€
MOTOR DC	2	2	-	Propio	
STEP MOTOR	1	2	-	Propio	1.49€
<b>TOTAL COMPRADO: 21.55 €</b>					
<b>TOTAL ESTIMADO: 46.83 €</b>					

# REFERENCIAS

- [1] International Federation of Robotics, "Service Robots Record: Sales Worldwide Up 32%", International Federation of Robotics, 2024. [Online]. Available: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/service-robots-record-sales-worldwide-up-32>
- [2] A. Ahmed, U. Ilyasu, U. F. Musa, A. B. Ishaq, y M. A. Baballe, "Advantages and disadvantages of using bomb disposal robots", *Global J. Res. Eng. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 6, pp. 50-56, Nov.-Dec. 2024, doi: 10.5281/zenodo.14180678. [Online]. Available: <https://gjpublication.com/gjrecs/>
- [3] Sphericals Insights, "Global Defense Robotics Market Insights Forecasts to 2033", Sphericals Insights, [Online]. Available: <https://www.sphericalinsights.com/reports/defense-robotics-market>
- [4] Wikipedia contributors, "Wheelbarrow (robot)," Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2025. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wheelbarrow\\_\(robot\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Wheelbarrow_(robot))
- [5] O. F. Áviles Sánchez y O. García-Bedoya, "VALI: Desarrollo y Evolución de un Robot Para Neutralizar Explosivos", [Online]. Available: <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/8658/10595.pdf?sequence=1>
- [6] "Aplicaciones de un controlador Bluetooth en Robótica: Capítulo 3. El WiiRemote." BiblioUS, Universidad de Sevilla. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/11526/fichero/Aplicaciones+de+un+controlador+Bluetooth+en+Rob%C3%B3tica+%252FCapitulo+3.+El+WiiRemote.pdf>
- [7] S. -O. Shin, D. Kim and Y. -H. Seo, "Controlling Mobile Robot Using IMU and EMG Sensor-Based Gesture Recognition," *2014 Ninth International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications*, Guangdong, China, 2014, pp. 554-557, doi: 10.1109/BWCCA.2014.145.
- [8] Kawashimaken, "wiimote-eps32-robot-arm," GitHub, disponible en: <https://github.com/kawashimaken/wiimote-eps32-robot-arm>
- [9] "Cameras for Robot Vision": Disponible en: [https://www.roboticsbook.org/S53\\_diffdrive\\_sensing.html](https://www.roboticsbook.org/S53_diffdrive_sensing.html)