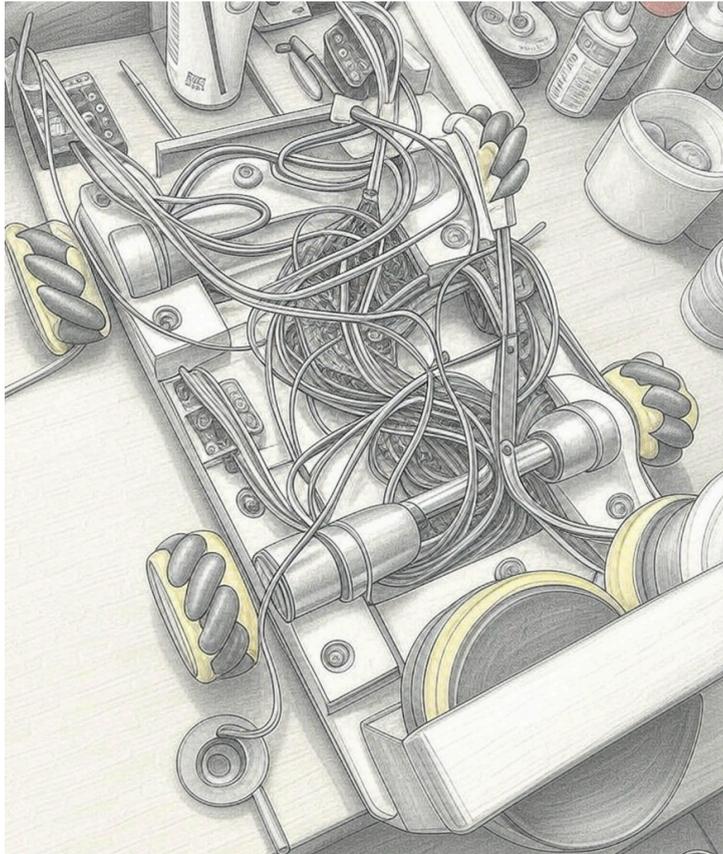


Statement of Work:

Lanza y recoge pelotas autónomo

Proyectos Integrados, GIERM



Integrantes:

- Eduardo Espinosa Ponce
- Francisco Fuentes Campos
- Antonio Lago Solís
- Daniel López Rubio
- Selene Masa Muñoz
- Ana Palma Álvarez
- Alba Rodríguez Fernández
- Javier Santos Martínez
- Heliodoro Tejada Rodríguez

Fecha: 3 de abril de 2025

Índice

Índice	2
1. Introducción	3
1.1. Descripción del problema.....	3
1.2. Estado del arte.....	4
1.2.1 Lanzapelotas de pádel (4)(5).....	5
1.2.1 Recogepelotas de pádel.....	7
1.2.3 Patentes de mecanismo lanzapelotas.....	8
1.3. Solución Propuesta.....	9
2. Alcance	10
2.1 Objetivos.....	10
2.2 Requisitos.....	10
• Funcionales.....	10
• Prestaciones.....	11
• Diseño.....	11
• Operación.....	12
• Restricciones.....	12
2.3 Descripción de subsistemas.....	12
Subsistemas.....	12
2.4. WBS.....	14
3. Periodo y Planificación	15
3.1. Periodo de trabajo.....	15
3.2. Diagrama de Gantt.....	15
3.3. Análisis de riesgos.....	17
3.3.1 Análisis FODA.....	17
Fortalezas.....	17
Oportunidades.....	17
Debilidades.....	17
Amenazas.....	17
3.3.2 Matrices de riesgo y soluciones.....	17
4. Calendario 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	31
7. Referencias	35
8. Anexos	36

1.Introducción

1.1. Descripción del problema

El pádel es un deporte en auge en los últimos años. Anteriormente, parecía una actividad reservada a cierta parte de la sociedad. Hoy día, la situación ha cambiado completamente, ya que es uno de los deportes con más fichas federadas de España. Este factor y la popularidad que ha tomado en los últimos años, ha hecho nacer muchísimos lugares e instalaciones para jugar al pádel.

Como cualquier deporte nuevo, muchos jugadores se han interesado en recibir consejos de expertos o personas que han dedicado más tiempo a dicha actividad con el objetivo de mejorar su nivel de juego en el deporte. Es por ello que en la actualidad las escuelas de pádel tienen una demanda inmensa, llegando algunas incluso a estar saturadas por la cantidad de jugadores interesados en mejorar su nivel de juego.

De los entrenamientos de pádel surge la figura del entrenador o el monitor de pádel. Sin duda es el método más usado cuando se quiere mejorar en el deporte. Esta figura la suele proporcionar un club de pádel en sus propias instalaciones.

El producto que se ofrece se ha planteado para diferentes clientes potenciales según la finalidad que le quiera dar el comprador. Por ejemplo, dedicado a un particular aficionado, profesional o a un club de padel.

Por un lado, se puede utilizar como reemplazo del monitor de pádel, teniendo la posibilidad de programar el cliente sus propios entrenamientos a través de la app, haciendo uso de las funcionalidades de tirar y recoger bolas

Por otra parte, para los jugadores con un nivel más elevado, este producto puede ser un gran complemento para el monitor, ya que el profesor podría estar mucho más cerca del alumno sin la necesidad de estar tirando las bolas a la vez que nos da consejos o directamente corrige el gesto técnico de determinado golpe. En definitiva, el monitor quedará totalmente dedicado a observar y corregir al alumno, centrando toda su atención en el cliente y desentendiéndose totalmente del lanzamiento de bolas, que suele ocupar la mayor parte de la actividad del monitor durante las clases tradicionales de pádel.

En resumen, las funcionalidades del producto son las de lanzar y recoger bolas de forma controlada y autónoma, incorporando una interfaz de control mediante una aplicación móvil para la programación de los entrenamientos. Esta interfaz debe ser capaz de interactuar con el robot, pudiendo modificar trayectorias de lanzamiento de bolas, velocidades y ángulos de tiro a gusto del cliente o el alumno, o si se usa para jugadores expertos, sería el monitor el que toma control del dispositivo.

1.2. Estado del arte

Si bien el pádel es un deporte en auge, recientes estudios del WHO (World Health Organization, OMS en Español) y del INE (Instituto Nacional de Estadísticas) arrojan datos alarmantes.

En España, las encuestas realizadas por el Instituto mostraron que el 27.4% de personas mayores de 16 años no realizaban ningún tipo de deporte en el año 2022. Esta cifra se torna más alarmante si nos centramos en la comunidad de Andalucía, donde el porcentaje de sedentarismo asciende a un 32,5%.⁽¹⁾ Este valor es semejante al 31% de sedentarismo mundial estudiado por la OMS.⁽²⁾



Fuente: Módulo de Salud. Encuesta de Condiciones de Vida 2022, INE.

La salud mundial, por tanto, se ve amenazada por esta inactividad. El deporte es algo esencial para el correcto funcionamiento de nuestro organismo, tanto mental como físicamente. Según la OMS, los niños y adolescentes de hasta 17 años deberían realizar diariamente una media de una hora de deporte con intensidad moderada, mientras que los adultos deberían hacer entre 150 a 300 minutos de ejercicio aeróbico moderado a lo largo de la semana.⁽³⁾

Por ello, algunos países pretenden disminuir en los próximos 5 años el sedentarismo al 15%. De esta propuesta, como una herramienta para promover el deporte, surgió la idea del producto a diseñar.

En concreto, el pádel es una gran forma de ejercitarse de una forma amena tanto para adultos como niños, siendo un deporte dinámico. No obstante, los horarios bulliciosos de la actualidad dificultan a las personas la opción de jugar con un compañero. Además, en muchos casos, la contratación de un entrenador personal para aprender las nociones básicas o más avanzadas del deporte puede no estar al alcance de la mayoría de personas.

Por ello mismo, se decidió desarrollar un robot que lanza y recoge las pelotas de forma autónoma, permitiendo así el ejercicio individual y más eficiente. Los clubs de pádel podrían poner a disposición estos robots para aquellas personas cuyos recursos económicos no les permitan contratar un entrenador personal. También, resulta una herramienta innovadora para los entrenadores, que como ya se mencionó, pueden atender mejor a sus alumnos en cada sesión. A continuación, se analizará la solución propuesta respecto a dispositivos similares.

Actualmente, a la venta solo existen lanzapelotas o recogepelotas por separado sin capacidad de movimiento autónomo, siendo ambos de un alto coste. No obstante, no es posible encontrar un robot que integre todas estas funcionalidades a un precio más asequible. Compararemos por tanto nuestro producto, con ambos tipos de productos de forma individual.

1.2.1 Lanzapelotas de pádel ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾

Los lanzapelotas del mercado en su actualidad son en su mayoría estáticos, de grandes dimensiones y pesados. Por ejemplo, las marcas más conocidas se tratan de los lanzapelotas Slinger o la marca Pusun.

Estas máquinas presentan las siguientes características:

- Peso: en torno a 18 kg
- Autonomía: 3 horas en el caso de la máquina Slinger y 6-8 horas en la máquina PUSUN PT MAX.
- La máquina PUSUN PT MAX sí cuenta con una programación inteligente que permite 28 puntos de lanzamiento a través de la app. Mientras tanto, el lanzapelotas Slinger aunque más reducido, también puede adoptar distintos tiros como son golpes de fondo, voleas o bajadas a pared a través de un mando distancia. Asimismo, para poder cambiar el ángulo horizontal de tiro se ha de adquirir a parte un producto (oscilador).
- Capacidad de entre 120 y 150 bolas.
- Estáticas: Estas máquinas están diseñadas para trabajar sin movimiento, por lo que se han de situar en el lugar pertinente de la pista.
- Velocidad de lanzamiento: 20-140 km/h para la PUSUN PT MAX y de 10 a 73 km/h para la SLINGER PADEL.
- Ambas actúan con rodillos de fricción. No obstante, otras máquinas usan compresiones de aire para propulsar la pelota.
- Rango de precio: entre los 1000€ hasta los 1700€ en el caso de la PUSUN PT MAX.
- Público: En ambos casos, se oferta según la empresa para profesionales, escuelas y aficionados. No obstante, debido a su alto costo el público de este producto suelen ser expertos en el deporte que están dispuestos a invertir dicha cantidad.

En comparación, nuestro producto presenta las siguientes características:

- Peso menor a 10kg

- Autonomía de al menos 1 hora.
- Programación inteligente que permitiría variar los ángulos de tiros tanto vertical como horizontal.
- Capacidad de 10 bolas.
- Capacidad de movimiento autónomo por la pista, pues incluye unas ruedas mecanum con motores que le permiten al dispositivo desplazarse por las diversas partes de la cancha.
- Velocidad de lanzamiento: Hasta 72 km/hora.
- Actúa con rodillos de fricción al igual que las anteriores.
- Precio:1300€.
- Público: Puede estar al alcance de expertos, aficionados y escuelas. Sin embargo, el público prioritario del producto serían clubs de deportes.

El robot diseñado, por tanto, aunque tendría una menor autonomía y capacidad de pelotas de pádel, tiene prestaciones que en la actualidad no son comunes en el mercado. Entre ellas cabe destacar la capacidad de movimiento autónomo por la pista para lanzar las pelotas de la forma más efectiva a las distintas partes de la cancha. Asimismo, su peso más liviano y sus menores dimensiones hacen que este robot sea más transportable que el producto de la marca Slinger cuyas dimensiones son 52 x 36.5 x 78 cm.

Para concluir, a continuación, se presenta una tabla comparativa de los productos respecto al proyecto:

	Slinger Bag	PUSUN PT MAX
Peso (*)	Peor	Peor
Autonomía	Mejor	Mejor
Programación inteligente	Peor	Mejor
Capacidad de almacenamiento	Mejor	Mejor
Movimiento	Peor	Peor
Técnica de lanzamiento	Igual	Igual
Velocidad de lanzamiento	Igual	Mejor
Precio	Igual	Peor

Funcionalidades	Peor	Peor
------------------------	------	------

*Ser peor equivale a pesar más

En la tabla anterior vemos si el producto ofrece peores prestaciones que el diseñado (Peor), mejores que el diseñado (Mejor) o las prestaciones son iguales. Por tanto, podemos ver visualmente que, aunque en algunos aspectos nuestro diseño está más limitado por los recursos disponibles, ofrece mejoras considerables respecto a los productos comunes en el mercado, destacando la capacidad de movimiento y la adición de un sistema recoge pelotas.

1.2.1 Recogepelotas de pádel

En cuanto a recogepelotas son pocas las opciones que se pueden encontrar en el mercado y en su mayoría necesitan ser operados manualmente. Consecuentemente, requieren que el jugador dedique parte de su entreno en la recogida.

No obstante, existe un dispositivo “Tennibot”⁽⁶⁾ que es similar al producto diseñado en el proyecto. Se trata de un robot que de forma autónoma recolecta las pelotas de tenis. Compararemos por tanto nuestro dispositivo con este a través de sus patentes disponibles en la plataforma “fama.us.es” concretamente, a través de la Oficina de Patentes Europea (Espacenet).

Se detallará a continuación la presente comparación basándose en la patente US 11944876 B2 del producto Tennibot. Este recogedor de pelotas presenta las siguientes características:

- Capacidad de almacenamiento: 80 pelotas de tenis.
- Autonomía: 4-5 horas de funcionamiento.
- Movimiento autonomía: hace uso de sensores y cámaras para ubicar al robot dentro de la pista. No obstante, necesita de dos cámaras adicionales estáticas que apuntan hacia las distintas partes de la pista para así asistir al robot a través de odometría y procesado de imagen.
- Control remoto: Conexión vía app para elegir los diferentes modos de recogida, para ello se puede elegir la zona de la pista en la que se quiere recoger pelotas o la opción de modo manual.
- Uso de rodillos con fricción para elevar la pelota.
- Función adicional: Puede barrer pistas de tierra a medida que avanza debido a un cepillo en la zona posterior del robot.

Se presentan a continuación las características del robot diseñado en el proyecto:

- Capacidad de almacenamiento: 10 pelotas.
- Autonomía de al menos 1 hora.

- Movimiento autonomía: Se mueve automáticamente con la ayuda de sensores y una cámara. La imagen captada por la cámara se procesa con una Raspberry Pi 5 y un modelo de inteligencia artificial capaz de reconocer pelotas de pádel.
- Control remoto: Conexión vía WIFI a la aplicación presentada al usuario.
- Colección a través de rodillos de fricción.
- Función adicional: Lanzar de vuelta al otro campo de la pista las pelotas una vez han sido recogidas según se indique por la aplicación.

Si bien, otros recogepelotas como el comentado pueden tener más autonomía o capacidad de almacenamiento, carecen de la funcionalidad innovadora de devolver la pelota al jugador. En estos casos el deportista deberá de ir hacia el robot para tomar de nuevo las pelotas y poder seguir con el entrenamiento, lo cual no sucede con el dispositivo diseñado. Por tanto, el producto planteado facilita el entrenamiento del jugador al máximo, permitiendo que sean más eficaces.

Cabe destacar además que, al contrario que la mayoría de robots con funcionalidades de recogidas parecidas, este robot no usa la tecnología LiDAR para navegar por la pista, lo cual ofrece la posibilidad de su venta a un precio competitivo.

1.2.3 Patentes de mecanismo lanzapelotas

A continuación, se darán unos detalles respecto al mecanismo de lanzamiento de las pelotas. A través de una investigación sobre los productos antes mencionados y las patentes se llegó a la conclusión que los mecanismos de lanzamiento de pelotas más efectivos son los siguientes:

- Lanzador de pelotas a través de aire comprimido: En este caso la pelota es impulsada a través de un pistón de aire móvil.⁽⁷⁾
- Lanzador a través de rodillos de fricción: En este caso la pelota se impulsa debido a la fuerza de compresión que sufre la pelota al pasar entre dos rodillos giratorios que además de provocar un momento en la pelota también la comprime provocando una fuerza de impulsión.⁽⁸⁾

En el proyecto se ha optado por la segunda opción por su eficacia y robustez frente al pistón. Asimismo, esto provoca que sea posible marcar un precio competitivo pues el robot hace uso de una tecnología económica, por lo que los costes son menores.

En conclusión, si bien existen robots que recogen o que lanzan las pelotas, en el mercado hay una gran cadencia de robots multiusos para este deporte. Así pues, un jugador podría comprar el robot diseñado por el precio de un lanzapelotas de tenis tradicional con la ventaja de su compacto diseño, fácil transporte y la posibilidad de que este también recoja las pelotas tras el entrenamiento. Por lo tanto, las sesiones de prácticas serían más productivas dando mejor resultado en el rendimiento del atleta, que ahora no deberá perder tiempo de su entrenamiento.

1.3. Solución Propuesta

La idea de este proyecto surge por la carencia de un producto en el mercado que integre las tres funcionalidades básicas que se van a implementar en el robot.

Existen a la venta máquinas que lanzan bolas, pero estáticas completamente. Es decir, siempre lanzan el mismo tipo de bola a menos que se ajuste de forma manual, teniendo que manipular la máquina y detener momentáneamente el entrenamiento.

También existen recogedores de bolas autónomos, pero solo las recogen, no las lanzan.

El robot que se propone será capaz de recoger las bolas, almacenarlas y lanzarlas de forma completamente autónoma, pudiendo modificar la trayectoria de los tiros entre bolas. Será una integración total de funcionalidades, lo que se presenta como una innovación para el mercado.

Esta integración se va a realizar con un robot con cuatro ruedas, capaz de desplazarse por toda la pista en busca y recogida de las bolas que por la moqueta se encuentren. El desplazamiento se va a realizar gracias a ella, permitiendo su giro en todas las direcciones.

A modo de alimentación se utilizarán 3 baterías, una para accionar los mecanismos tanto de lanzamiento como de recogida y otras dos para los motores de movimiento.

Las bolas se recogen mediante un par de rodillos que impulsan la bola al depósito a bordo donde se van a almacenar, esperando a ser lanzadas mediante dos discos, siendo el ángulo de lanzamiento variable en el rango de 15° a 60°.

Todo estos sistemas se soportan sobre un chasis de perfiles de aluminio, lo que proporciona al robot suficiente robustez estructural para la aplicación que se pretende.

La parte de visión, percepción y control de los motores se va a realizar mediante una Raspberry Pi y un microcontrolador.

El modelo de inteligencia artificial que detecta las bolas a través de la cámara correrá sobre la Raspberry Pi. Esta extraerá tanto la distancia de la bola al centro de la imagen como una triangulación de la distancia de la bola al robot. Estos datos serán enviados al microcontrolador. Gracias a estos y al algoritmo de control que se ha instalado; teniendo en cuenta los posibles movimientos de las ruedas el robot comenzará a moverse hacia la bola detectada hasta que el sistema de recogida de bolas la tome y la almacene en el depósito.

Por último, una vez el robot haya recogido todas las bolas, se dirigirá a una posición determinada de la pista, desde la cual comenzará a lanzar las bolas que previamente ha almacenado.

2. Alcance

2.1 Objetivos

Para la realización de este proyecto, se han propuesto distintas metas a cumplir. Dichas metas son organizadas con distintas prioridades.

Tarea	Prioridad	Descripción
Lanzamiento de bolas	Alta	El robot lanzará la pelota a una velocidad alta con una trayectoria deseada.
Recolección de pelotas	Alta	El dispositivo captará la posición espacial del objeto a recoger con una frecuencia y velocidad adecuada.
Entrenamientos personalizados	Media	La máquina coordinará el lanzamiento y la recogida, entre otras funcionalidades, para que sea usado como entrenador personal.
Creador de trayectorias	Baja	Será posible crear una trayectoria con distintos parámetros modificables desde la aplicación.
Estación de carga	Muy Baja	El sistema tendrá una estación de carga.

2.2 Requisitos

- **Funcionales**

- 1.El robot debe lanzar pelotas de forma autónoma.
- 2.El robot debe recoger las pelotas de forma autónoma.

3.El robot debe reconocer pelotas de pádel a través de la inteligencia artificial.

4.El sistema podrá almacenar hasta 10 pelotas de pádel.

5.El robot puede llegar a tener una autonomía de 1 hora y media.

• **Prestaciones**

1.1 La distancia de lanzamiento puede alcanzar los 20m.

1.2 La cadencia de lanzamiento puede ser de hasta 1 bola cada 3 segundos.

1.3 El robot podrá posicionarse de forma autónoma para lanzar las pelotas.

1.4 El ángulo de lanzamiento se podrá modificar entre 15 ° y 60°.

1.5 La bola podrá ir a una velocidad de hasta 15 m/s.

1.6 El robot podrá cambiar la dirección de lanzamiento de cada bola.

2.1 El robot será capaz de levantar las bolas a la altura del depósito.

2.2 El robot debe ser capaz de recorrer de forma autónoma la pista recogiendo todas las pelotas que se encuentre.

2.3 El robot podrá recoger hasta una bola por segundo.

3.1 El sistema debe ser capaz de capturar y procesar hasta 5 fotogramas por segundo.

3.2 El sistema podrá seguir bolas en movimiento.

4.1 El robot debe disponer de un sistema de alimentación de bolas hacia el dispositivo de lanzamiento.

• **Diseño**

1. El volumen del depósito debe ser de 2500 cm³.

2. El peso del robot no debe superar los 10 kg.

3. El sistema debería disponer de unos brazos para una recogida de bolas más eficaz.

4. El sistema podrá disponer de ruedas omnidireccionales para una recogida más rápida y eficiente.
5. El sistema debe disponer de una serie de discos y rodillos necesarios para la recogida y posterior lanzamiento de las pelotas.
6. El robot debe disponer de un carrusel en el depósito para la correcta alimentación del sistema de transporte de bolas.
7. El robot debe moverse a una velocidad mínima de 5 km/h.

- **Operación**

1. El sistema se podrá manejar de forma remota a través de una APP vía WiFi.
2. El robot se podrá desplazar en todo tipo de pistas de pádel.
3. El robot debe disponer de un sistema de comunicación para la transmisión de datos con la aplicación.

- **Restricciones**

1. El presupuesto debe ser menor de 90€.
2. El proyecto debe estar finalizado antes del 20 de mayo.
3. El robot no debe operar bajo climas adversos.

2.3 Descripción de subsistemas

El proyecto se puede descomponer en varios subsistemas claves para el correcto funcionamiento. Es posible pinchar en el esquema para verlo con mayor claridad.

Subsistemas

- Visión. El subsistema de visión está conformado por una cámara y por un sistema embebido a cargo del procesamiento de la imagen. Esta es procesada gracias al uso de inteligencia artificial. En específico, YOLOv8, un algoritmo de visión (You Only Look Once), responsable de la detección de las pelotas. Con el

formato NCNN facilitando así el procesado. Detecta la posición del objeto a seguir y crea las señales necesarias para el control.

- Control. Recibe las señales obtenidas a través de la visión y de la aplicación móvil. Con dichas señales genera salidas para que el sistema cumpla sus funciones: siga la pelota, el entrenamiento predeterminado se ejecute, lance la pelota, incline la rampa, etc.
- Lanzador de bolas. El sistema está formado por dos discos que giran gracias a dos motores. Las pelotas pasan por medio de ambos discos y estas son disparadas gracias a la fricción y presión ejercida sobre la misma.
- Recolector de pelotas. El sistema consta de dos rodillos que cuando llega una pelota, esta es proyectada hacia el interior del dispositivo, accediendo así al depósito.
- Carrusel. Encargado de la gestión de la cadencia con la que las pelotas caen desde el recipiente que las contiene hasta donde son lanzadas. Gira a una velocidad controlable en función de las necesidades del usuario.
- Tren motriz. Este subsistema es el encargado del movimiento, depende directamente de la visión en el caso de la recogida. Dicho movimiento depende de la posición en píxeles y en centímetros hasta la bola. No obstante, cuando el dispositivo pasa al estado en el que lanza las pelotas, no depende de la visión.
- Comunicación Raspberry Pi/ microcontrolador. Esta comunicación es realizada a través de la comunicación UART. Se crea un protocolo idóneo para no saturar al microcontrolador y mandar señales sólo cuando sea necesario.
- Comunicación entre aplicación móvil/ Raspberry. Esta comunicación se realiza por WiFi. La Raspberry Pi funciona como un servidor que recibe las peticiones realizadas por la aplicación. Ambas conectadas al mismo WLAN.
- Carrocería. Es la estructura que sirve tanto para proteger al dispositivo como para servir de soporte y organizar todos los distintos componentes.
- Aplicación. Es la encargada de transmitir las intenciones del usuario final al microcontrolador. Visualmente atractiva y fácil de usar.
- E-PowerTrain. Este subsistema distribuye la energía aportada por las baterías hasta los motores.
- Electrónica. Integra tanto una PCB como la correcta organización del cableado y los dispositivos necesarios para la realización del proyecto. Por ejemplo, sensores o motores.

3. Periodo y Planificación

3.1. Periodo de trabajo

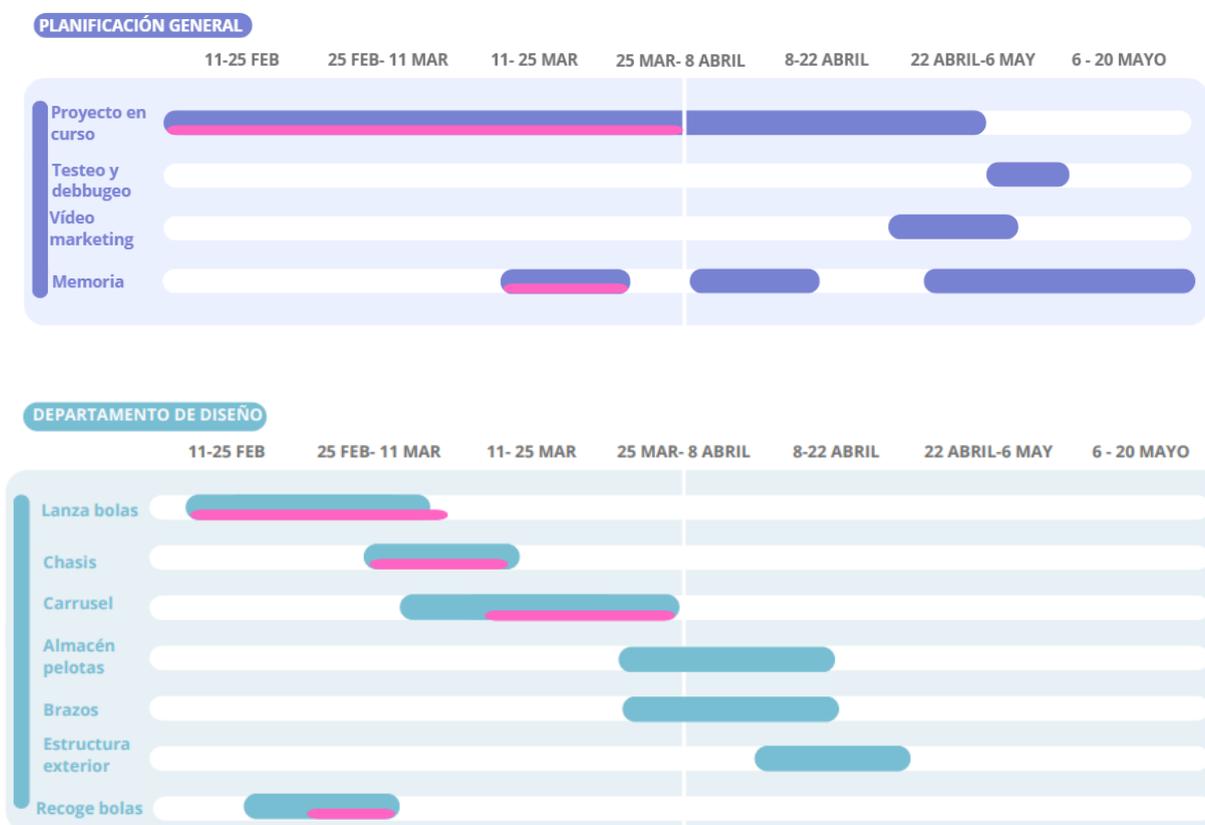
El proyecto comenzó el 12 de febrero de 2025 y termina el 20 de mayo teniendo hasta el 4 de junio para entregar toda la documentación. Siendo así su duración de 14 semanas para el desarrollo del proyecto y de 16 semanas para la realización de la documentación necesaria.

A pesar de que las fechas límites sean las anteriores, el trabajo del equipo está centrado en conseguir terminar ambas cosas para el 1 de Mayo, teniendo así margen para imprevistos que no se hubieran podido solucionar en el plazo propiamente establecido.

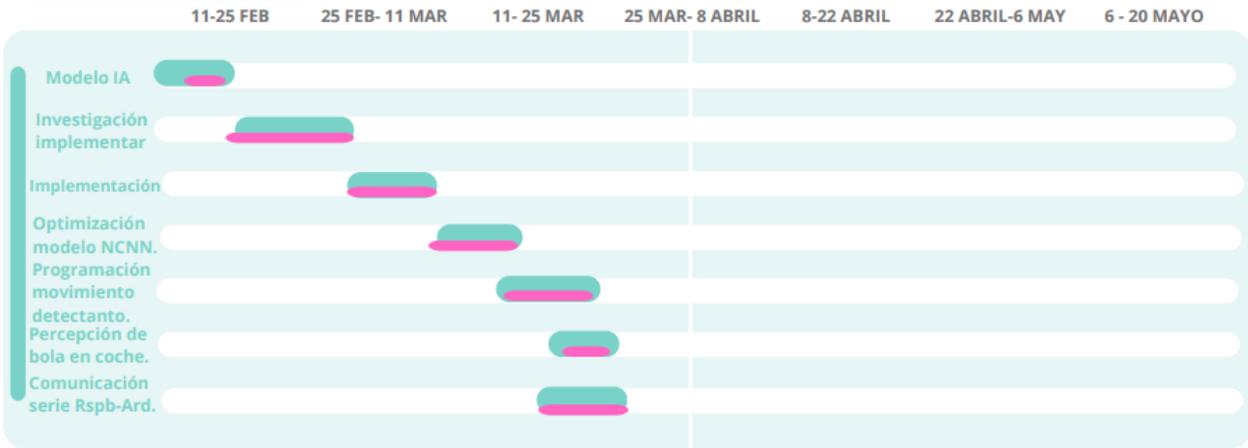
3.2. Diagrama de Gantt

A continuación se adjunta un diagrama de Gantt para cada departamento del proyecto para una mejor visualización. Además, se muestra una comparación del tiempo estimado con el real hasta la fecha, siendo las líneas rosas el tiempo real que se ha requerido para cada tarea. Se inserta un link al archivo en gitlab del diagrama en la primera imagen.

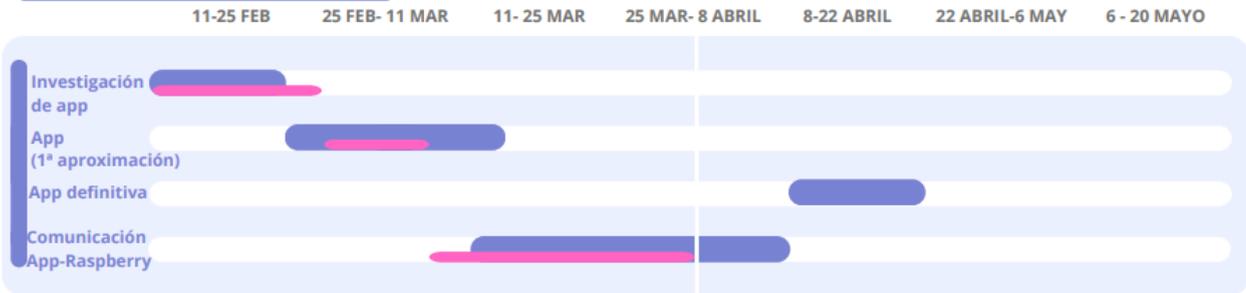
Diagrama de Gantt



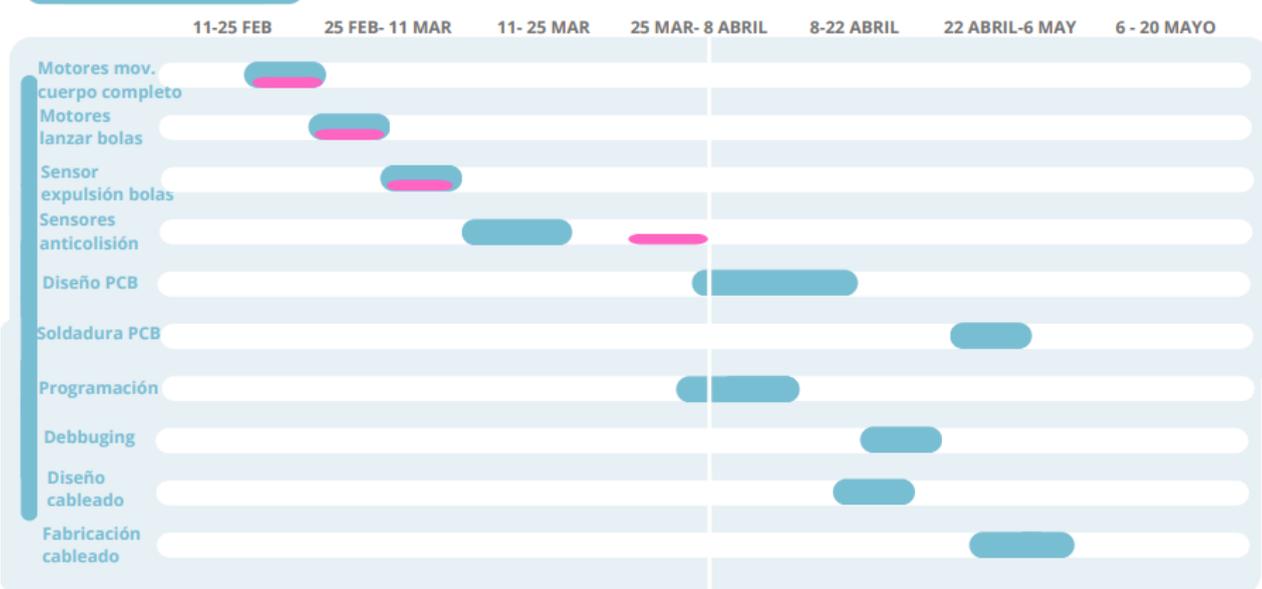
DEPARTAMENTO DE IA Y CONTROL



DEPARTAMENTO DE APP Y COMUNICACIÓN



DEPARTAMENTO ELECTRÓNICA



3.3. Análisis de riesgos

3.3.1 Análisis FODA

Fortalezas

- Innovación en el diseño.
- Uso de tecnologías Arduino, sensores, Raspberry.
- No uso de LiDAR
- Aplicabilidad en entrenamientos deportivos.
- Desarrollo de hardware y software propios.
- Flexibilidad para ajustes y mejoras.

Oportunidades

- Crecimiento del mercado de entrenadores automáticos en deportes de pelota.
- Posible interés de clubes de pádel.
- Posible interés de jugadores profesionales de pádel.
- Integración con aplicaciones móviles para mejorar la experiencia.

Debilidades

- Dependencia de componentes electrónicos que pueden fallar.
- Necesidad de calibración precisa de sensores y actuadores.
- Alto consumo energético.

Amenazas

- Posibles retrasos en la llegada de componentes.
- Fallos en la comunicación entre los diferentes módulos.
- Cambios en la regulación de uso de robots en espacios deportivos.

3.3.2 Matrices de riesgo y soluciones

Analizamos los riesgos que ponen en peligro el desarrollo de nuestro proyecto desde tres puntos de vista:

- El desarrollo general del proyecto: donde analizamos en general la probabilidad y la severidad que podrán tener esos problemas en nuestro caso.
- El desarrollo del proyecto en el ámbito económico: analizamos cómo puede afectar cada riesgo a nuestro presupuesto, esto es algo muy importante y difícil de evaluar debido al alto valor que tienen muchos de los componentes que nos han sido prestados.

- El desarrollo del proyecto respecto del tiempo: analizamos cómo afectaron los problemas temporalmente, es decir, los posibles retrasos a tener en cuenta si alguno nos pasara desde que se retrasen componentes a tener que aprender tecnologías totalmente desconocidas.

Matriz de riesgos general

	Severidad alta	Severidad media	Severidad baja
Probabilidad alta	<ul style="list-style-type: none"> -Mal calibre de los actuadores. -Consumo excesivo de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> -Sensores mal calibrados. -Sobrecalentamiento de los componentes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Estabilidad del robot. -Desgaste prematuro de piezas móviles.
Probabilidad media	<ul style="list-style-type: none"> -Demasiado peso para los motores. -Se estropee algún motor o controlador. -PCB falta de alguna conexión. -No sea capaz de recoger la pelota. -No sea capaz de tirar la pelota. - Se estropee la impresora 3D. -Que se lleve un impacto que provoque la ruptura de alguno de sus componentes 	<ul style="list-style-type: none"> -No reconozca pelotas. -Interferencias (problemas con WiFi...). -Fallo de algún cable de difícil acceso. -Detecte bolas detrás del cristal. -Que se atasque el movimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> -Fallo de algún cable de fácil acceso. -Se rompa alguna de las piezas de impresión 3D. -Que se lleve un impacto que provoque el descalibramiento de algún sensor. -Demasiada fuerza que de a una persona y la dañe.
Probabilidad baja	<ul style="list-style-type: none"> -Se rompe la cámara. -Atasco en los rodillos. -Se estropee el módulo Arduino. -Se estropee la Raspberry. -Que se moje accidentalmente. -Accidente incapacitante de alguno de los componentes del grupo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Se rompe alguna rueda. -La pelota sale sin fuerza. -Atasco en el carrusel. -No llegue alguno de los componentes. -No conseguir la conexión entre la raspberry y el módulo arduino. 	<ul style="list-style-type: none"> -No conseguir la conexión entre Raspberry y la aplicación.

La gran mayoría de estos problemas se pueden solucionar con otra inversión de dinero para reemplazar las piezas dañadas. Pero esto, además de dinero, costaría un tiempo que provocaría un retraso en la planificación interna.

Como **plan de contingencia** para los problemas más probables y graves, planteamos:

- Mal calibre de los actuadores y sensores mal calibrados: numerosas pruebas para probar la calibración de todos los actuadores, empezando por pruebas de cada parte por separado, seguidamente se irán integrando partes que vayan seguidas hasta tener integrado todo el trabajo.
- Consumo excesivo de energía: con pruebas ir midiendo la energía que se lleva cada motor y tener una batería adicional que poder conectar.
- Accidente incapacitante de alguno de los componentes del grupo: cada tarea tiene al menos dos personas encargadas y que poseen el conocimiento completo sobre el tema respectivo. Además de tener subidos todos los códigos, diseños..., mediante el uso de repositorios.
- Sobrecalentamiento de los componentes: Medir al hacer la pruebas y contar con disipadores de calor y una estructura que facilite la refrigeración.
- Demasiado peso para los motores: estimar sobredimensionando la carga que tendrá cada uno.
- Se estropee algún motor o controlador: tener siempre un controlador y un motor de reserva.
- PCB falta de alguna conexión: revisar cuidadosamente cada componente, preguntando a personas más cualificadas.
- No sea capaz de recoger la pelota y que no sea capaz de tirar la pelota: hacer pruebas en diferentes superficies y en diferentes momentos.
- Se estropee la impresora 3D: tener otra de repuesto.
- Que se lleve un impacto que provoque la ruptura de alguno de sus componentes: tener a disposición siempre piezas y filamento de impresora 3D necesario para arreglarlo.

Además como uno de los planes de contingencia más importante que tenemos es no ajustarnos a las fechas finales de entrega, tanto a las impuestas por el profesorado como a las marcadas por nosotros mismos para así tener tiempo de arreglar cualquier configuración, pedir piezas nuevas...

Otro de estos planes es tener una reserva de dinero para poder comprar otros componentes necesarios.

Matriz de riesgos económicos

	Severidad alta	Severidad media	Severidad baja
Probabilidad alta	<ul style="list-style-type: none"> -Consumo excesivo de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento de los componentes. -Desgaste prematuro de piezas móviles. 	<ul style="list-style-type: none"> -Estabilidad del robot. -Mal calibre de los actuadores. -Sensores mal calibrados.
Probabilidad media	<ul style="list-style-type: none"> -Demasiado peso para los motores. -Se estropee algún motor o controlador. -PCB falta de alguna conexión. -Que se lleve un impacto que provoque la ruptura de alguno de sus componentes. -Se estropee la impresora 3D. 	<ul style="list-style-type: none"> -Se rompa alguna de las piezas de impresión 3D. -Que se atasque el movimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> -Fallo de algún cable de fácil acceso. -No sea capaz de recoger la pelota. -No sea capaz de tirar la pelota. -No reconozca pelotas. -Interferencias (problemas con la wifi...). -Fallo de algún cable de difícil acceso. -Que se lleve un impacto que provoque el descalibramiento de algún sensor. -Detecte bolas detrás del cristal. -Demasiada fuerza que de a una persona y la dañe.
Probabilidad baja	<ul style="list-style-type: none"> -Se rompe la cámara. -Se estropee el módulo arduino. -Se estropee la Raspberry. -Que se moje accidentalmente. 	<ul style="list-style-type: none"> -Se rompe alguna rueda. -No llegue alguno de los componentes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Atasco en los rodillos. -La pelota sale sin fuerza. -Atasco en el carrusel. -No conseguir la conexión entre la raspberry y el módulo arduino. -No conseguir la conexión entre Raspberry y la aplicación. -Accidente incapacitante de alguno de los componentes del grupo.

Matriz de riesgos temporales

	Severidad alta	Severidad media	Severidad baja
Probabilidad alta	<ul style="list-style-type: none"> -Mal calibre de los actuadores. 	<ul style="list-style-type: none"> -Sensores mal calibrados. -Consumo excesivo de energía. -Estabilidad del robot. -Desgaste prematuro de piezas móviles. 	<ul style="list-style-type: none"> -Sobrecalentamiento de los componentes.
Probabilidad media	<ul style="list-style-type: none"> -Demasiado peso para los motores. -PCB falta de alguna conexión. -No sea capaz de recoger la pelota. -No sea capaz de tirar la pelota. - Se estropee la impresora 3D. -No reconozca pelotas. -Fallo de algún cable de difícil acceso. 	<ul style="list-style-type: none"> -Interferencias (problemas con WiFi...). -Que se lleve un impacto que provoque la ruptura de alguno de sus componentes. -Detecte bolas detrás del cristal. -Que se atasque el movimiento. -Se estropee algún motor o controlador. -Que se lleve un impacto que provoque la ruptura de alguno de sus componentes. -Se rompa alguna de las piezas de impresión 3D. 	<ul style="list-style-type: none"> -Fallo de algún cable de fácil acceso. -Que se lleve un impacto que provoque el descalibramiento de algún sensor. -Demasiada fuerza que de a una persona y la dañe.

Probabilidad baja	-Se rompa la cámara. -Se estropee el módulo arduino. -Se estropee la raspberry. -No llegue alguno de los componentes. -No conseguir la conexión entre la Raspberry y el módulo arduino. -Accidente incapacitante de alguno de los componentes del grupo.	-Se rompa alguna rueda. -La pelota sale sin fuerza. -Atasco en el tiotivo. -Atasco en los rodillos. -No conseguir la conexión entre la raspberry y la aplicación.	-Que se moje accidentalmente.
-------------------	---	---	-------------------------------

4. Calendario de entregables

3 Abril	Versión preliminar del SOW
Por determinar	Versión corregida del SOW
Por determinar	Informe de progreso 1
20 Mayo	Demostración del proyecto
4 Junio	Entrega final

- Demostración del proyecto: Se trata de una presentación en clase con videos demostrativos y una breve explicación de su funcionamiento, montaje y realización.
- Entrega final: Consistirá en la entrega de toda la documentación llevada a cabo durante el desarrollo del proyecto, incluyendo la memoria, el SOW final, los códigos y la documentación de estos.

5. Criterios de Aceptación

5.1. Criterios de aceptación

El proyecto será aceptado una vez se hayan implementado y verificado correctamente los requisitos obligatorios definidos en la documentación.

Para que la aceptación se lleve a cabo, el robot deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Lanzamiento de bolas a una distancia de 20 metros, con ángulos de disparo ajustables.
- Recogida de bolas.
- Almacenamiento de hasta 10 bolas.
- Reconocimiento de bolas mediante inteligencia artificial.
- Movimiento autónomo del robot.
- Control remoto mediante aplicación móvil.

La comprobación de estos requisitos se realizará mediante la matriz de verificación y el plan de pruebas.

5.2. Matriz de verificación

Requisitos	Nombre de Requisito	Verificación				Nombre de Prueba	Estado
		I	A	D	T		
F.1	Lanzamiento de bolas	X	X		X	Test 1, Test 2	OK
F.2	Recogida de bolas		X		X	Test 6	OK
F.3	Reconocimiento de pelotas de pádel				X	Test 8	OK
F.4	Almacenamiento de 10 pelotas	X				Dimensionado de recipiente de almacenamiento	PENDIENTE
F.5	Autonomía del robot	X				Duración Operativa del Robot	OK
P.1.1	Lanzamiento de bolas a 20 m		X		X	Test 1, Test 2	OK
P.1.2	Lanzamiento de 1 bola por segundo	X			X	Test 1, Test 2	OK
P.1.3	Movimiento autónomo del robot				X	Test 7	OK

P.1.4	Ángulo de lanzamiento entre 15° y 60°	X		X	Test 3	PENDIENTE
P.1.7	La bola podrá ir a 15 m/s	X		X	Test 1, Test 2	OK
P.1.8	Dirección de lanzamiento			X	Test 5	PENDIENTE
P.2.1	Levantar la bola del suelo al depósito	X		X	Test 6	OK
P.2.2	Movimiento autónomo del robot			X	Test 7	OK
P.2.3	Recoger una bola por segundo	X		X	Test 6	OK
P.3.1	Captura de 6 imágenes/segundo			X	Test 8	PENDIENTE
P.3.2	Seguimiento bola en movimiento	X		X	Test 8	OK
P.4.1	Sistema de transporte de bolas	X			Dimensionado de recipiente de almacenamiento	PENDIENTE
D.1	Tamaño del depósito	X			Dimensionado de recipiente de almacenamiento	PENDIENTE
D.2	Peso del robot	X			Pesaje del robot	PENDIENTE
D.3	Brazos para recogida	X			Análisis de las extremidades del robot	PENDIENTE
D.4	Estructura de movimiento	X			Análisis de ruedas omnidireccionales	OK
D.5	Discos y rodillos	X			Dimensionado de elementos de recogida y lanzamiento	OK
D.6	Carrusel para disposición de pelotas	X		X	Test 4	PENDIENTE
D.7	Velocidad mínima del robot de 5 m/s	X			Análisis de velocidad	OK
O.1	Control remoto desde una app		X	X	Test 9	PENDIENTE
O.2	Movimiento sobre césped artificial con una base de arena			X	Test 10	PENDIENTE

O.3	Sistema de comunicación para transmisión de datos		X		X	Test 11	PENDIENTE
-----	---	--	---	--	---	---------	-----------

5.3 Plan de Pruebas

- Número del test: **1**
- Tipo de test: Lanzamiento
- Instalaciones donde se prueba: Laboratorios ETSI
- Item probado: Lanzador de bolas
- Procedimiento: Se ensambló el mecanismo de lanzamiento y se procedió a la inserción manual de las bolas en el sistema para evaluar el alcance y la trayectoria de los proyectiles. Se registraron las mediciones de distancia para cada intento a fin de analizar el rendimiento del mecanismo.
- Duración de la campaña de test : 1 hora
- Fecha de la campaña de test: 4/3/2025
- Información adicional: Durante las pruebas iniciales, se identificó que el mecanismo no generaba la fuerza suficiente para alcanzar la distancia esperada. Se procedió a analizar posibles mejoras estructurales y de materiales para optimizar el rendimiento del sistema.

- Número del test: **2**
- Tipo de test: Lanzamiento
- Instalaciones donde se prueba: Pista de fútbol ETSI
- Item probado: Lanzador de bolas
- Procedimiento: Se montó nuevamente el mecanismo de lanzamiento para evaluar la efectividad de las modificaciones implementadas. Se realizaron pruebas introduciendo las bolas manualmente y se midió la distancia alcanzada en cada disparo.
- Duración de la campaña de test: 1 hora
- Fecha de la campaña de test: 10/3/2025

○ Información adicional: A partir del análisis del Test 1, se decidió reducir la separación entre los discos y aplicar una superficie de mayor adherencia en la zona de contacto con las bolas. Como resultado, se logró una mejora sustancial en el alcance, alcanzando distancias de hasta 20 metros de manera consistente.

○ Número del test: **3**

○ Tipo de test: Lanzamiento

○ Instalaciones donde se prueba: Pista de fútbol ETSI

○ Item probado: Lanzador de bolas

○ Procedimiento: Se implementará un sistema de ajuste angular mediante un servo para modificar el ángulo de disparo entre 15° y 60°. Se realizarán múltiples pruebas con distintos ángulos y se documentarán los resultados obtenidos en términos de precisión y alcance.

○ Duración de la campaña de test: Aproximadamente 1 hora

○ Fecha de la campaña de test: Marzo-Abril

○ Información adicional: Con la validación de este test, se considerará finalizada la fase de desarrollo del mecanismo de lanzamiento de pelotas.

○ Número del test: **4**

○ Tipo de test: Almacenamiento de pelotas

○ Instalaciones donde se prueba: Domicilio de uno de los componentes

○ Item probado: Carrusel

○ Procedimiento: Se ensamblará el sistema de alimentación de pelotas con un mecanismo rotativo tipo carrusel, diseñado para gestionar el flujo de bolas de forma secuencial. Se verificará el correcto traslado de las bolas desde el depósito hasta el mecanismo de lanzamiento.

○ Duración de la campaña de test: Aproximadamente 1 hora

○ Fecha de la campaña de test: Marzo-Abril

○ Información adicional: Tras esta prueba, se podrá determinar la eficiencia del sistema de transferencia de pelotas y evaluar la velocidad óptima para garantizar un suministro continuo sin obstrucciones.

- Número del test: **5**
- Tipo de test: Detección posición
- Instalaciones donde se prueba: Pista de pádel
- Item probado: Visión
- Procedimiento: Se trasladará el prototipo a una pista de pádel para evaluar su capacidad de reconocimiento de patrones en la superficie. Se ejecutarán pruebas para verificar si el robot detecta y se posiciona correctamente sobre la marca en forma de “T” ubicada en el centro de la pista.
- Duración de la campaña de test: Aproximadamente 30 minutos
- Fecha de la campaña de test: Abril
- Información adicional: Se considera que este test debe ejecutarse en una etapa avanzada del proyecto, ya que su correcta implementación requiere la integración completa de los subsistemas de navegación y detección.

- Número del test: **6**
- Tipo de test: Recogida
- Instalaciones donde se prueba: Laboratorios ETSI
- Item probado: Recolector de pelotas
- Procedimiento: Se montó el sistema de rodillos diseñados para capturar las pelotas desde el suelo. Se evaluó su capacidad de succión al acercar manualmente las bolas y se registró la eficiencia del mecanismo en términos de velocidad y precisión de captura.
- Duración de la campaña de test: 20 minutos
- Fecha de la campaña de test: 21/3/2025
- Información adicional: Se verificó que el mecanismo operaba correctamente sin necesidad de aplicar la máxima potencia en los motores, logrando levantar las pelotas con una trayectoria parabólica óptima para su almacenamiento.

- Número del test: **7**
- Tipo de test: Movimiento autónomo
- Instalaciones donde se prueba: Domicilio de uno de los componentes

- Item probado: Tren motriz
 - Procedimiento: Se implementó un algoritmo de detección de pelotas mediante visión artificial utilizando un modelo de IA. Se midió la distancia de la bola al centro de la imagen para generar comandos de desplazamiento del robot, estableciendo una comunicación efectiva entre la Raspberry Pi y el microcontrolador de los motores.
 - Duración de la campaña de test: Un par de horas cada día.
 - Fecha de la campaña de test: 18/3/2025-22/3/2025
 - Información adicional: Se optimizó el algoritmo de visión artificial para mejorar el rendimiento de detección. Se documentaron mejoras significativas al migrar de una Raspberry Pi 3 a una Raspberry Pi 4, incrementando la tasa de procesamiento de fotogramas de 0.5 fps a 2 fps.
-
- Número del test: **8**
 - Tipo de test: Reconocimiento de bolas
 - Instalaciones donde se prueba: Domicilio de uno de los componentes
 - Item probado: Visión
 - Procedimiento: Se desarrolló y ejecutó un programa basado en OpenCV para probar la efectividad del modelo de IA en la detección de pelotas. Se realizaron pruebas utilizando diferentes modelos de YOLO para comparar su precisión y tiempos de inferencia.
 - Duración de la campaña de test : 30 minutos
 - Fecha de la campaña de test: 14/2/2025
 - Información adicional: Se realizaron ajustes en la arquitectura del modelo para optimizar la detección, logrando un tiempo de entrenamiento de 15 horas con YOLOv8.
-
- Número del test: **9**
 - Tipo de test: Control Remoto
 - Instalaciones donde se prueba: Domicilio de un componente
 - Item probado: Comunicación entre aplicación móvil/ Raspberry
 - Procedimiento: Se evaluará la conectividad y estabilidad de la aplicación móvil para enviar comandos a la unidad de procesamiento del robot a través de un enlace inalámbrico.
 - Duración de la campaña de test: Aproximadamente 2 horas

- Fecha de la campaña de test: Abril
- Información adicional: Se realizarán pruebas en un entorno sin interferencias y luego en un entorno con obstáculos para medir el impacto en la conectividad. Se documentarán posibles mejoras en la interfaz de usuario de la app para facilitar su uso y optimizar la experiencia del usuario.

- Número del test: **10**
- Tipo de test: Movimiento
- Instalaciones donde se prueba: Pista de pádel
- Item probado: Tren motriz
- Procedimiento: Se analizó el desempeño del robot sobre césped artificial con base de arena, ejecutando maniobras de desplazamiento lineal y giros predefinidos para evaluar la estabilidad y tracción.
- Duración de la campaña de test: Aproximadamente 1 hora
- Fecha de la campaña de test: Abril
- Información adicional: Los resultados de esta prueba determinarán si el sistema de ruedas mecanum es adecuado para este tipo de superficie o si es necesario realizar modificaciones en el diseño del sistema de tracción.

- Número del test: **11**
- Tipo de test: Conexión
- Instalaciones donde se prueba: Domicilio de un componente
- Item probado: Comunicación entre aplicación móvil/ Raspberry
- Procedimiento: La Raspberry Pi 5 funcionará como un servidor, por lo que creará su propio punto de acceso y ejecutará un servidor TCP que escuchará por un puerto en específico. La aplicación móvil detectará la red Wi-Fi y se conectará a la dirección IP de la Raspberry PI. Se seleccionarán distintas configuraciones dentro de la aplicación, se enviarán los respectivos comandos a la Raspberry PI mediante sockets TCP y recibirá respuestas del servidor significando que el mensaje ha sido recibido.
- Duración de la campaña de test (reservar tiempo para varios tests y no sólo uno! - margen):
- Fecha de la campaña de test: Marzo-Abril

- Información adicional: La dirección IP de la Raspberry Pi 5 se ajustará para que coincida con la misma que contiene la aplicación para no tener que introducir dicha dirección a mano en la aplicación, creando así una experiencia de cliente más satisfactoria.

6. Material y presupuesto

El objetivo de este apartado del SOW (*Statement of Work*) es dejar plasmados todos los materiales usados para el proyecto, así como su funcionalidad dentro del mismo, su coste, su procedencia, entre otros aspectos de interés.

El presupuesto total para el proyecto es de noventa euros (diez euros por cada integrante del proyecto), por lo que es muy importante llevar a cabo un control de gastos que recoja todo esto. Además, es muy importante dejar cierto margen de seguridad dentro del presupuesto por si surge algún tipo de imprevisto como que se averíe una pieza esencial y se necesite un repuesto de la misma.

Para llevar a cabo dicho control se ha realizado un BoM (Bill of Materials) en *Google Sheets* dentro de la unidad de *Google Drive* dedicada al proyecto. Se usa dicho software debido a que es gratuito, todos los integrantes del grupo tienen fácil acceso al mismo y así se logra la centralización de toda la información relativa al proyecto en una única plataforma. A continuación, se adjunta una imagen de la tabla y el [enlace a la hoja de cálculos](#).

CONTROL DE GASTOS									
PRODUCTO	CANT.	DEPARTAMENTO	FECHA	ESTADO	DESCRIPCIÓN	ENLACES	COSTE/ud (€)	IMPORTE TOTAL (€)	PAGADO POR
Ruedas de Mecanum	4,00	Diseño	17/02/2025	Comprado	Ruedas omnidireccionales motrices del robot	Compra y datasheet	3,20	12,8	Helio
Raspberry Pi 4	1,00	I.A. y Control	20/02/2025	Prestado	Placa para la percepción del sistema autónomo del robot	Datasheet	0,00	0	Prestado por el profesor Manuel Perales
Cámara	1,00	I.A. y Control	20/02/2025	Prestado	Cámara para la percepción del sistema autónomo del robot	Datasheet	0,00	0	Prestado por el profesor Manuel Perales
Motor 2212 920kV	2,00	Electrónica	25/02/2025	Comprado	Motores para el lanzamiento de bolas	Compra y datasheet	9,02	18,04	Lago
Motor 2212 920kV	2,00	Electrónica	25/02/2025	Prestado	Motores para recoger bolas	Datasheet	0,00	0	Prestado uno de los miembros
37Dx52L Motor	4,00	Electrónica	1/03/2025	Reutilizado	Motores para las ruedas motrices del robot	Datasheet	0,00	0	Antiguo proyecto
8156970	6,00	Electrónica	5/03/2025	Comprado	Controladoras para los cuatro motores motrices	Compra y datasheet	0,99	5,94	x1 - Lago, Ana, Selene x2 - Alba // x1 - Helio
PCB	1,00	Electrónica		Aprobado	PCB de JLC para control de la electrónica	JLC	11,00	11	
Prototipo Discos	2,00	Diseño	28/02/2025	Comprado	Discos 50mm y soporte 3D para prototipo lanzamiento	Compra	1,82	3,64	Helio
Soporte Motores	4,00	Diseño	14/03/2025	Comprado	Anclaje de los motores al chasis	Compra	0,72	2,88	Helio
Tornillería	1,00	Diseño	16/03/2025	Comprado	Tornillos para anclaje de los motores	Compra	1,95	1,95	Alba
Motor GB57-520	1,00	Electrónica	17/03/2025	Comprado	Motor para la rotación del carrusel	Compra y Datasheet	6,1	6,1	Lago
Prototipo Recogida	1,00	Diseño	19/03/2025	Aprobado	Prototipo en 3D de recogida de bolas	Compra	1,65	1,65	Helio
Batería Motor Matriz	1,00	Electrónica	23/03/2025	Prestado	Batería para la alimentación de los motores motrices del robot	Datasheet	0,00	0	Prestado por uno de los miembros
Batería Motor Matriz	1,00	Electrónica	23/03/2025	Comprado	Batería para la alimentación de los motores motrices del robot	Datasheet y Compra	17,58	17,58	Lago
Cables	1,00	Electrónica	30/03/2025	Prestado	Cables para el sistema electrónico del robot		0,00	0	Prestado por uno de los miembros
GASTO TOTAL (€)								81,58	
PRESUPUESTO DISPONIBLE (€)								8,42	

Seguidamente, se procede a explicar cada columna de la hoja de cálculos a modo de leyenda:

PRODUCTO	CANTIDAD	DEPARTAMENTO
Breve descripción del artículo	Cantidad necesaria del producto en cuestión	Departamento para el cual es necesaria la adquisición de dicho producto

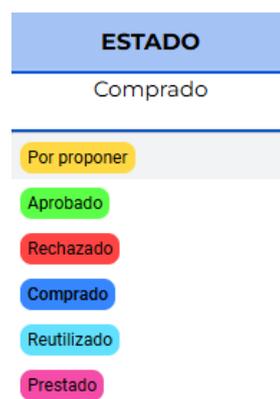
FECHA	ESTADO	DESCRIPCIÓN
Fecha en la que se adquiere el producto	Estado de la adquisición del producto	Descripción un poco más extensa sobre el producto y su funcionalidad

ENLACES	COSTE/ud	IMPORTE TOTAL (€)
Enlaces de interés sobre el producto (compra, datasheet, etc)	Precio unitario del producto a adquirir	Desembolso total al comprar el producto teniendo en cuenta la cantidad de artículos

PAGADO POR	GASTO TOTAL	PRESUPUESTO DISPONIBLE
Persona que ha pagado el producto (para posterior reparto por todos los miembros del grupo), persona de la que se ha prestado o reutilizado el artículo	Coste del proyecto teniendo en cuenta el precio y la cantidad de todos los productos adquiridos y reflejados en la tabla	Cantidad de dinero disponible teniendo en cuenta el presupuesto inicial (noventa euros) y el gasto total

Para aquellos apartados que requerían de diversas funcionalidades se han aplicado fórmulas y funcionalidades del software que serán expuestas a continuación:

- Uso de menú desplegable para las opciones de departamento y estado de la compra:



DEPARTAMENTO
Diseño
Electrónica
Diseño
I.A. y Control
Software

- Uso de fórmulas y funciones específicas con distintos objetivos. A continuación se expone un ejemplo:

Importe total: $\text{=SI(0(ESBLANCO(D8); ESBLANCO(P8)); ""; D8 * P8)}$

Esta fórmula se encarga de multiplicar la cantidad de ese producto adquirida por el precio unitario del producto para así obtener el importe total. Además, hace que la celda se quede vacía hasta que estos dos campos (factores de la multiplicación) no hayan sido rellenados.

- Coordinación con el resto de la unidad para acceso a distintos archivos:

Esto se realiza en la columna de enlaces en la cual se adjunta la dirección para acceder a imágenes o datasheets de los distintos productos. Estos han debido de ser subidos previamente a la unidad de Drive en su respectiva carpeta dentro de cada departamento. De esta forma, toda la información queda almacenada ordenadamente y en una única plataforma.

ENLACES	COSTE/ud (€)
Compra y datasheet	3,20
Datasheet	0,00

Por último, resulta interesante estudiar el precio real del robot si se tuviese en cuenta el precio de todo el material con el que ya se disponía y aquellos que han sido prestados de distintas fuentes ([enlace a la hoja de cálculo](#))

CONTROL DE GASTOS COMERCIAL									
PRODUCTO	CANT.	DEPARTAMENTO	FECHA	ESTADO	DESCRIPCIÓN	ENLACES	COSTE/ud (€)	IMPORTE TOTAL (€)	PAGADO POR
Ruedas de Mecanum	4,00	Diseño	17/02/2025	Comprado	Ruedas omnidireccionales motrices del robot	Compra y datasheet	3,20	12,8	Helio
Raspberry Pi 5	1,00	I.A. y Control	20/02/2025	Comprado	Placa para la percepción del sistema autónomo del robot	Datasheet y Compra	63,39	63,39	Javi
Cámara	1,00	I.A. y Control	20/02/2025	Comprado	Cámara para la percepción del sistema autónomo del robot	Datasheet y Compra	20,00	20	Ana
Motor 2212 920kV	2,00	Electrónica	25/02/2025	Comprado	Motores para el lanzamiento de bolas	Compra y datasheet	9,02	18,04	Lago
Motor 2212 920kV	2,00	Electrónica	25/02/2025	Comprado	Motores para recoger bolas	Datasheet	9,02	18,04	Alba
370x20L Motor	4,00	Electrónica	1/03/2025	Comprado	Motores para las ruedas motrices del robot	Datasheet	36,33	145,3	Eduardo
B156970	6,00	Electrónica	5/03/2025	Comprado	Controladoras para los cuatro motores motrices	Compra y datasheet	0,99	5,94	x1 - Lago, Ana, Selene x2 - Alba // x1 - Helio
PCB	1,00	Electrónica		Aprobado	PCB de JLC para control de la electrónica	JLC	11,00	11	Fran
Prototipo Discos	2,00	Diseño	28/02/2025	Comprado	Discos 50mm y soporte 3D para prototipo lanzamiento	Compra	1,82	3,64	Helio
Soporte Motores	4,00	Diseño	14/03/2025	Comprado	Anclaje de los motores al chasis	Compra	0,72	2,88	Helio
Tornillería	1,00	Diseño	16/03/2025	Comprado	Tornillos para anclaje de los motores	Compra	1,95	1,95	Alba
Motor GB57-520	1,00	Electrónica	17/03/2025	Comprado	Motor para la rotación del carrusel	Compra y datasheet	6,1	6,1	Lago
Prototipo Recogida	1,00	Diseño	19/03/2025	Comprado	Prototipo en 3D de recogida de bolas	Compra	1,65	1,65	Helio
Batería Motor Motriz	1,00	Electrónica	23/03/2025	Comprado	Batería para la alimentación de los motores motrices del robot	Datasheet	17,58	17,58	Helio
Batería Motor Motriz	1,00	Electrónica	23/03/2025	Comprado	Batería para la alimentación de los motores motrices del robot	Datasheet y Compra	17,58	17,58	Lago
Cables	2,00	Electrónica	30/03/2025	Comprado	Cables para el sistema electrónico del robot	Compra	2,50	5	Selene
GASTO TOTAL (€)								350,89	
PRESUPUESTO DISPONIBLE (€)								-260,89	

Se puede observar que el precio total sería de 350,89€, sobrepasando el presupuesto actual por 260,89€. Cabe destacar que este proyecto es del ámbito académico, es decir, que en el caso de que se plantease la producción en masa los precios podrían abarataarse considerablemente, consiguiendo un precio competitivo en el mercado actual. Aún así, el gasto total resultaría suficiente como para sacar beneficios considerables comparando este producto con su competencia.

7. Referencias

- (1) “Ejercicio físico regular y sedentarismo en el tiempo libre”. Instituto Nacional de Estadística. Accedido el 24 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.ine.es/uc/w6phi2A1>
- (2) “Nearly 1.8 billion adults at risk of disease from not doing enough physical activity”. World Health Organization (WHO). Accedido el 22 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/rO38EgD>
- (3) Organización Mundial de la Salud, *Directrices de la OMS sobre actividad física y comportamientos sedentarios*, Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 2021. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- (4) “Máquina lanzapelotas padel - Slinger Padel”. Slinger Padel. Accedido el 24 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/5gyap9M>
- (5) “Ball machine pusun pt max”. Technology Sport. Accedido el 23 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible: <https://goo.su/Igpy>
- (6) Eletrabi Haitham Ahmed Reda y Wang Xianglin, “Autonomous tennis assistant systems”, Patente europea US11511165 (B1), 29 de noviembre de 2022.
- (7) Kwak Sang Won y Kim Seung Sik, “Tennis ball launcher”, Patente europea KR101901786 (B1), 27 de septiembre de 2018.
- (8) Hwang In Heon, “Automatic tennis ball launcher”, Patente europea KR20180031135 (A), 28 de marzo de 2018.
- (9) Dibujo esquemático de un robot con efecto lápiz [Imagen generada por IA]. Generado por Grok, una inteligencia artificial desarrollada por xAI.

8. Anexos

Como añadido a la parte de la solución propuesta, de modo que se detalle más sobre la idea, se ha realizado una profundización sobre la misma:

Esta integración se va a realizar con un robot con ruedas, capaz de desplazarse por toda la pista en busca y recogida de las bolas que por la moqueta se encuentren. Para ello se ha decidido implementar ruedas tipo "Mecanum". Estas proporcionan un incremento en la capacidad de movilidad con respecto a las ruedas tradicionales. La correcta coordinación de giros entre las 4 ruedas instaladas proporcionan al robot la capacidad de realizar los desplazamientos tradicionales; adelante, atrás y giros, además de otros como el trazado de diagonales o el movimiento lateral; es decir, hacia los lados sin necesidad de avanzar adelante o atrás.

El desplazamiento del robot se va a realizar gracias a estas ruedas, que serán movidas por unos motores DC, los cuales incluyen una reductora. Estos motores se encuentran controlados por módulos "puente H", permitiendo su giro en ambas direcciones. Esta característica es totalmente necesaria si se quiere implementar todos los movimientos que las ruedas elegidas permiten.

La entrega de energía a los "puente H"; que posteriormente se dirigirá hacia los motores, se realizará con el sistema eléctrico y electrónico. Dicha energía provendrá de 2 baterías de 11.1 V de tensión nominal y 5.2 Ah de capacidad cada una.

Así mismo, una tercera batería será la encargada de accionar tanto el mecanismo de lanzamiento como de recogida de bolas. En ambos casos se implementará un par de motores en los que se instalarán discos y rodillos con el objetivo de impulsar la bola, ya sea para recogerla o para lanzarla. Estos motores van a ser "brushless"; es decir, motores sin escobillas. Por esta razón, la controladora que varíe los campos magnéticos en estos motores no va a ser un "puente H" sino un "ESC" (electronic speed controller). Las bolas que se recogen se van a almacenar en un depósito a bordo, esperando a ser lanzadas. Se instalará en el depósito un disco giratorio, con el objetivo de que la salida de bolas de él, que se dirigen al lanzamiento, lo hagan de forma ordenada y controlada, pudiendo variar la frecuencia de lanzamiento controlando la velocidad de giro de dicho disco. Este sistema se accionará mediante un quinto motor DC con reductora.