

STATEMENT OF WORK

PROYECTO: GIMBAL

PROYECTOS INTRGRADOS. 3 GIERM

ALEJANDRO ROCHE ANIENTO

FRANCISCO DELGADO CAPOTE

PABLO LÓPEZ ARCILA

ÁNGEL CARMONA GARCÍA

JAVIER GIL LEÓN

ALFREDO ZARAZAGA MONTALBÁN

JAIME GARRIDO GONZÁLEZ

CARMEN GOMEZ BARRERA

INDICE

INDICE	2
1. Introducción y propósito del proyecto	3
1.1. Descripción del problema	3
1.2. Estado del arte	4
1.3. Solución al problema	13
2. Alcance del proyecto	14
2.1. Objetivo.....	14
2.2. Requisitos	14
2.2.1. Funcionales	14
2.2.2. Prestaciones	15
2.2.3. Diseño.....	15
2.2.4. Operación.....	16
2.2.5. Matriz de verificación.....	17
2.3. Descripción de Subsistemas	18
2.3.1. Subsistema Electrónico	18
2.3.2. Subsistema Mecánico	18
2.3.3. Subsistema de Control	18
2.3.4. Subsistema de Comunicación.....	18
2.3.5. Subsistema de Montaje	18
2.4. WBS	19
3. Periodo y Planificación	20
3.1. Periodo de trabajo.....	20
3.2. Diagrama de Gantt.....	22
3.3. Análisis de riesgos.....	23
4. Calendario de entregables	26
5. Criterios de aceptación	27
5.1. Criterios de aceptación	27
5.2. Plan de pruebas.....	27
6. Material y presupuesto	34
6.1. Material necesario	34
6.2. Presupuesto.....	36
7. Referencias	37

1. Introducción y propósito del proyecto

1.1. Descripción del problema

La tecnología ha avanzado a lo largo de la historia, volviéndose cada vez más accesible a toda la población. Los coches aparecieron, y poco a poco se fueron normalizando hasta que hoy en día es normal tener uno por familia. Pero sin duda alguna, algo que ha evolucionado es la **telefonía móvil**, pues en pocos años hemos pasado de tener personas trabajando en centralitas conectando las líneas manualmente, a disponer cada persona de la oportunidad de transmitir información a cualquier punto del mundo en el instante que deseemos.

Esta información puede ser de texto, llamada telefónica, pero no hay otra más representativa de nuestra era que **la fotografía**.

Las cámaras de los móviles han ganado mucha calidad con los años, permitiéndonos guardar ese momento especial de la mejor manera posible: los primeros pasos de un bebé, esa puesta de sol, momentos divertidos con amigos, etc.

Para muchas personas o empresas, **la cámara de su móvil es una herramienta de trabajo**, pues a pequeñas escalas, nos puede permitir realizar tomas de una calidad bastante considerable.

Sin embargo, estas grabaciones pueden verse afectadas por las imperfecciones, algunas debidas a enfermedades que afecten a la motricidad como el párkinson, o la simple torpeza del ser humano. Para tomas fijas, sólo es necesario dejar el dispositivo fijo en un soporte, pero al entrar en movimiento, las vibraciones del usuario crearían una inestabilidad en la cámara, arruinando el filmado o la fotografía.

Por ello, buscamos **solucionar** estos problemas de estabilidad y vibraciones, implementado un dispositivo que acompañe al teléfono que elimine estos efectos parásitos, o los suavice a la hora de entrar en movimiento.

1.2. Estado del arte

- Historia

En el año 1976, Garret Brown creó el primer estabilizador de cámara, bautizándolo como “*Steadycam*”, que consistía en un sistema de suspensión con un brazo recto y soporte para cámara, que se unía mediante un chaleco al cuerpo del operador y de esta forma las tomas podían grabarse de forma más sencilla y suave.



Las primeras películas en las que se usó este dispositivo fueron “*Bound for Glory*”, “*Marathon Man*”, o la mítica “*Rocky*”.

Por aquel entonces, la accesibilidad a este tipo de dispositivos era muy limitada, ya que solo las grandes producciones contaban con ellas debido a su elevado coste.

Posteriormente, salieron al mercado otros modelos como el “*Glidecam*”, pensado para un uso menos profesional que el anterior, pero que aun así permitía obtener una gran calidad, o el “*Bodycam*”, que permitía una mayor movilidad.

Hoy, con el avance de la tecnología, se dispone de estabilizadores con un manejo más práctico y cómodo, haciéndose uso de un simple mango y de un

control automático, el cuál rechaza y suaviza las imperfecciones. Estos se han convertido en un producto más accesible, tanto por tema económico como un enfoque más comercial y amateur, y no sólo para grandes productoras.

Uno de los estabilizadores que más se ha popularizado en estos últimos años es el “*Gimbal*”, que consiste en un estabilizador para dispositivos de grabación y que se agarra a una mano, permitiendo una gran ergonomía y una mejora en el manejo con respecto a las anteriores versiones.



- Tecnologías utilizadas

→ *Motores/Actuadores*

Para conseguir la estabilización del sistema, necesitamos los motores que corregirán la orientación del dispositivo, transmitiendo su giro a la estructura.

Podemos encontrar diferentes tipos:

- Servomotores de 180°: Se pueden manejar de forma sencilla mediante un microcontrolador (arduino, esp32, etc...), de una forma eficiente y a un coste no excesivamente elevado. Sin embargo, el giro es menos suave y pueden producir vibraciones al corregir la posición. Además, su rango de actuación está limitado entre 0° y 180°.
- Servomotores 360°: A diferencia de los de 180°, estos no mantienen una posición fija, sino que giran de manera continua. También se pueden manejar con microcontroladores. El inconveniente principal es su falta de precisión.



- Motores Brushless (Sin escobillas): Estos motores son los más recomendados, ya que al no tener escobillas se reduce la fricción y además tienen un movimiento suave. Sin embargo, su precio es algo elevado en comparación con las demás opciones. Un modelo es el GBM2804H-100T.



- Motores Brushed (Con escobillas): Estos motores no son adecuados para esta aplicación, ya que al tener escobillas se produce fricción y con ello desgaste. Un ejemplo de estos motores es el Pololu 37D 12V.

→ Sensores

- IMU: Este sensor detecta la orientación y el movimiento del dispositivo, por lo que es esencial para poder realizar un control preciso. La usada en nuestro proyecto es la IMU GY-91, al ser asequible.
- Magnetómetro: Detecta el campo magnético de la tierra y orienta el dispositivo al norte.
- Encoders: Detectan la posición del motor y envía los datos al controlador.

- Patentes y diseños comerciales

Podemos encontrar una gran cantidad de estabilizadores para dispositivos de grabación, tanto dirigidos a la industria del cine como aquellos dirigidos a un público más amplio.

Algunas de las patentes encontradas en la red son las siguientes:

- EP4001732A1 · 2022-05-25 · SZ DJI TECHNOLOGY CO LTD [CN]:

Llevado a cabo por Yang Jian y Bei Shimeng, consiste en un estabilizador a una mano con 2 motores y un soporte que sujeta el dispositivo.

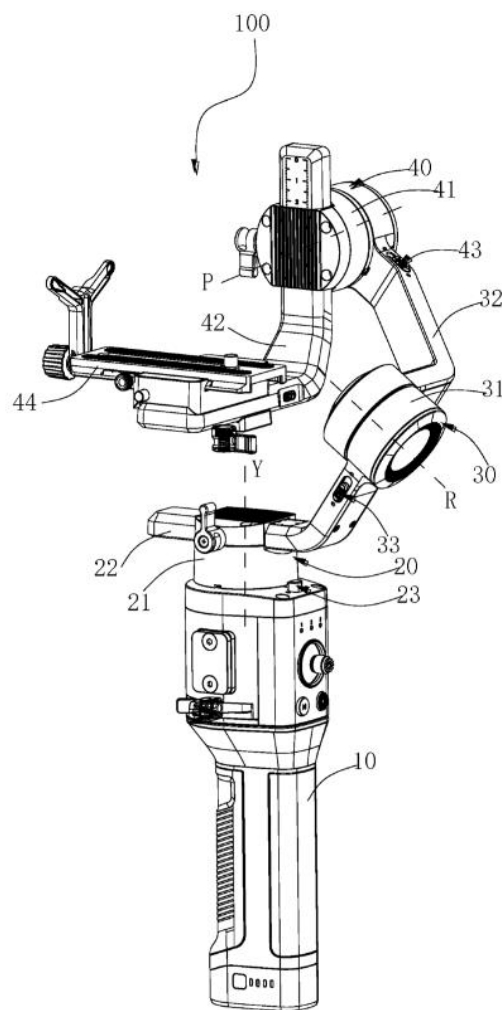


FIG. 1

- US11460755B2 (A1) · 2022-10-04 · SZ DJI TECHNOLOGY CO LTD [CN]

Realizado por Guo Shengjia, Li Dexi, Tang Yin y Nong Guisheng, consiste en una cámara y un pequeño sistema de estabilización.

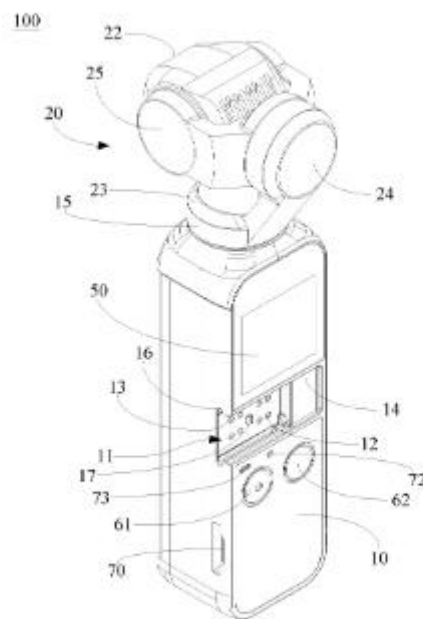


FIG. 1

- [US11384900B2 \(A1\) • 2022-07-12 • SZ DJI TECHNOLOGY CO LTD \[CN\]](#)

Realizado por Zhao Tianfei, Zhou Shiquiang y Xie Minzhao, es un gimbal a una mano muy similar al primero, sin embargo, este cuenta con 3 motores.

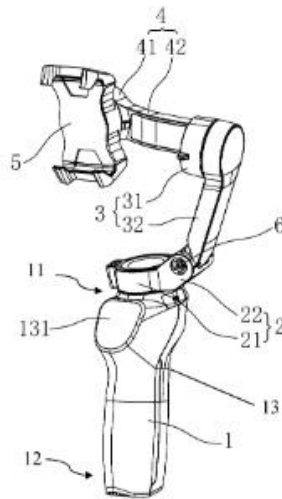


FIG. 1

Todas estas patentes han sido extraídas de la **web Espacenet**, que consiste en una base de datos on-line en la que se almacenan las patentes administradas por la Oficina Europea de Patentes.

Algunos de los productos comerciales más importantes del mercado son los siguientes:

- **DJI RS 3 Mini**

Consiste en un estabilizador de 3 ejes para cámara, con control mediante joystick y pantalla táctil, además de un peso de 795 g, que podemos encontrar en amazon.



- **ZHIYUN CINEPEER Crane 4E**

Al igual que el anterior, tiene 3 ejes, sin embargo está enfocado en cámaras más pesadas y profesionales.



Ambos productos cumplen en esencia la misma función, **estabilizar la imagen del dispositivo que soportan**, sin embargo, el precio de estos no es nada asequible, siendo de 250€ el primero y 500€ este último.

1.3. Solución al problema

Sin embargo, estos aparatos todavía podrían ser poco accesibles para la mayoría de las personas, pues sus precios se podrían considerar elevados respecto a la que puede significar para una persona su uso.

Nuestro propósito, además de conseguir la estabilización de la imagen, es hacerlo de la manera más económica y accesible posible para el resto de los usuarios, creando un **Gimbal** con diseños propios, y haciendo uso de los elementos más simples que nos puedan proporcionar el objetivo deseado.

Como se ha mencionado anteriormente, se usarán como inspiración estabilizadores de 3 ejes con mango, presentando ahora las distintas referencias:



Gimbal de un solo Mango



Gimbal de dos mangos

2. Alcance del proyecto

2.1. *Objetivo*

El objetivo del proyecto entonces consiste en un estabilizador de cámara, con posibilidad de control remoto, que permita la grabación de videos en los que las vibraciones no deseadas, como las que son generadas por movimientos accidentales que cualquier persona puede cometer, se vean reflejadas en el resultado como movimientos suaves en los que la cámara sigue una trayectoria que recoloca el objetivo de grabación en la orientación inicial.

Como objetivo secundario estará la posibilidad de detectar un cierto rango de giro, tras el cual la computadora decidirá si debe moverse junto a la estructura o si debe rechazar el movimiento. Dicho rango, será determinado de forma experimental atendiendo a las necesidades del problema.

Como adicciones, hemos decidido implementar en panel de mando por el cual podremos regular la iluminación externa mediante una bombilla led y la posibilidad del cambio de referencia manual.

Además, a todo esto, se le ha de añadir el hecho de que sea económico y de fácil manejo.

2.2. *Requisitos*

2.2.1. Funcionales

F.1. El sistema será capaz de estabilizar el objetivo de la cámara hacia una orientación determinada.

F.2. El sistema será capaz de poder cambiar dicha posición determinada y seguir comportándose igual que anteriormente explicado.

2.2.2. Prestaciones

P.1.1. El sistema rechaza perturbaciones angulares que pertenezcan al rango de $[-90, 90]$ grados en los tres ejes (pitch, roll, yaw).

P.2.1. El sistema permite un cambio de referencia que pertenezca al rango de $[-45, 45]$ grados.

P.3. El sistema permite sujetar cualquier dispositivo de grabación (teléfono móvil, cámara, etc...)

P.4. El sistema permitirá la regulación de luz externa y el cambio manual de referencia

2.2.3. Diseño

D.1. El sistema de estabilización contará con **3 eslabones** principales:

- El superior, con forma de L y con medidas de 15 cm por barra, un espesor de 1.5 cm y un ancho de 3.5 cm.
- El central contará con forma de U, en el que el eslabón central medirá 20 cm y los laterales medirán 15 cm, con igual espesor y ancho
- Barra final, en la que se colocará el soporte que sujetará el dispositivo.

D.2. El diseño se realizará en el software **Fusion 3D**, y se imprimirá en PLA, haciendo uso de una impresora 3D.

D.3. Para la **estructura de agarre** que sujetará la estructura de estabilización, se usará un tubo central de PVC, al que irán unidos unos mangos.

2.2.4. Operación

0.1. El sistema se encenderá y apagará de manera manual.

0.2.1. Tras el encendido, el sistema tomara la posición inicial de la estructura como referencia.

0.2.2. Se podrá controlar la dirección a la que se apunta de forma remota usando un Joystick.

0.3. Se permitirá el cambio entre punto fijo y seguimiento del movimiento.

2.2.5. Matriz de verificación

<u>Req.</u>	<u>Nombre</u>	<u>Verificación</u>				<u>Nombre de la prueba</u>	<u>Estado</u>
		I	A	D	T		
F.1.	ESTABILIZACION		X			Control 1	<i>Pendiente</i>
F.2.	CAMBIO DE REFERENCIA		X			Control 2	<i>Pendiente</i>
P.1.1.	ROTACION				X	Control 1.1	<i>Finalizado</i>
P.1.2.	REFERENCIA	X				Control 2.1	<i>Pendiente</i>
P.3.	UTILIZACION				X	Estructura 0	<i>Finalizado</i>
D.1.	DISEÑO ESTRUCTURA			X		Estructura 1	<i>Finalizado</i>
D.2.	HERRAMIENTAS DE MODELADO				X	Estructura 0.1	<i>Finalizado</i>
D.3.	DISEÑO DEL SOPORTE	X				Estructura 2	<i>Pendiente</i>
O.1.	SISTEMAS DE ENCENDIDO	X				General 1	<i>Pendiente</i>
O.2.1.	INICIO		X			Control 2.2	<i>Pendiente</i>
O.2.2.	EXTERNO REFERENCIA	X				Control 2.3	<i>Pendiente</i>
O.3.	PUNTO FIJO Y SEGUIMIENTO	X				General 2	<i>Pendiente</i>

2.3. Descripción de Subsistemas

Dentro de este proyecto hemos dividido los subsistemas en dichos apartados:

2.3.1. Subsistema Electrónico

El sistema contara con un apartado amplio de electrónica centrado principalmente en: Sensores de aceleración o IMU, fuentes de alimentación y baterías, servomotores de alto torque y el Inter conexionado correcto entre todo ello.

2.3.2 Subsistema Mecánico

Dentro de este subsistema nos encontramos: estructura y soporte; estudio de la estabilidad y equilibrio, diseño de piezas, piezas de mecanismos en movimiento.

2.3.3 Subsistema de Control

En este subsistema se aplicará en un microcontrolador esp32 para el equilibrio: Algoritmos de estabilización y control PID para los motores.

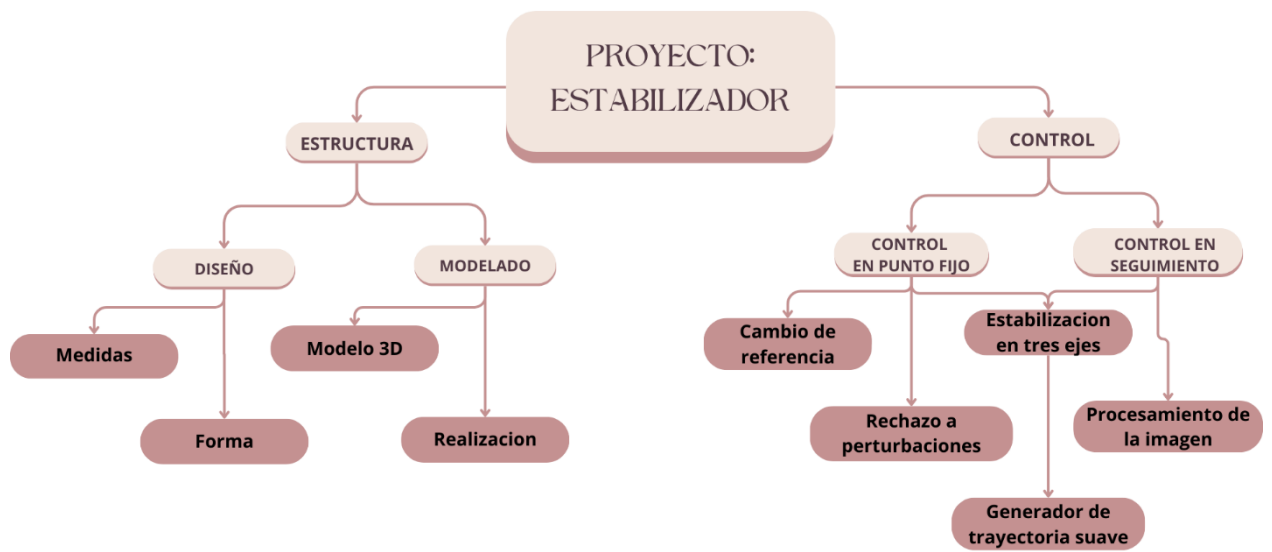
2.3.4 Subsistema de Comunicación

Dentro de este subsistema se especifica el uso de comunicación remota vía Bluetooth para poder mover el objetivo de manera remota, siendo esta otra funcionalidad de nuestro proyecto.

2.3.5 Subsistema de Montaje

Se aplicará en este subsistema el desarrollo de placa de montaje para cámaras o dispositivos.

2.4. WBS



3. Periodo y Planificación

3.1. *Periodo de trabajo*

El periodo de trabajo del proyecto es la duración total que se estima para completarlo, desde su inicio hasta su finalización para completarlo con éxito. Se incluye el tiempo de todas las tareas y fases del proyecto.

Busca ser lo más realista posible, asegurando el cumplimiento de los tiempos y objetivos establecidos.

La planificación del proyecto se organiza en 4 principales etapas, las cuales se dividen según su exigencia y sus objetivos a cumplir:

1. Investigación y exploración de datos:

- Proponer alternativas e hipótesis.
- Analizar los datos, encontrar patrones y extraer la información.
- Establecer la funcionalidad del proyecto.

2. Diseño y prototipado:

- Creación de un primer modelo funcional.
- Determinar software y hardware para la manipulación del estabilizador
- Organización y pruebas piloto con la tecnología que se utilizará

3. Implementación y depuración del diseño:

- Realizar testeo con el modelo definitivo
- Optimización y corrección de errores.

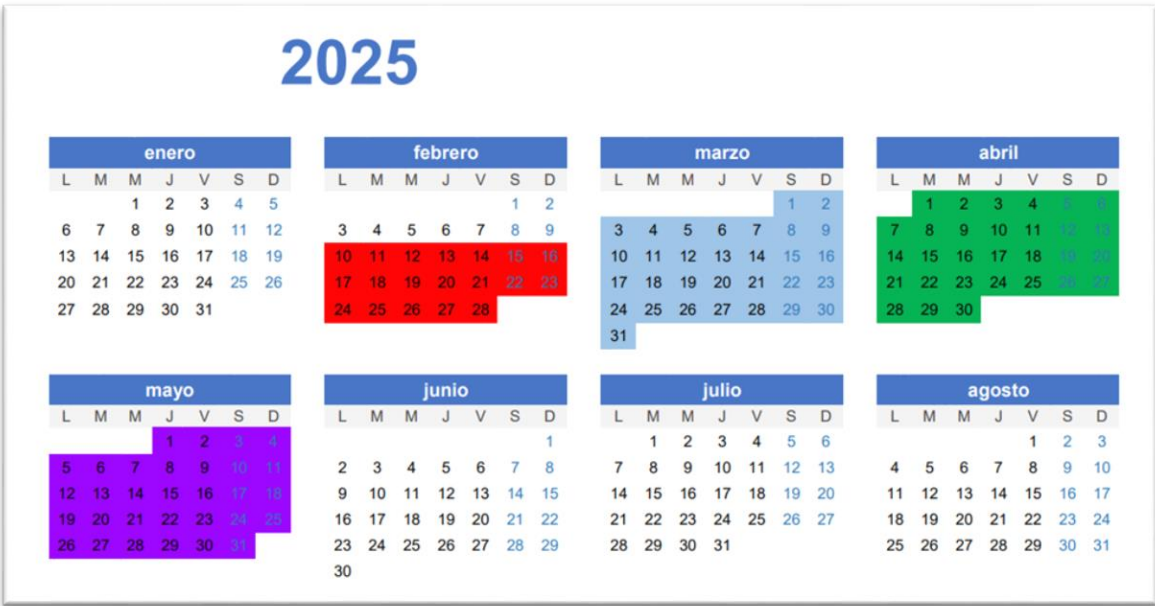
4. Fase final:

- Documentación y redacción de la memoria final.
- Imprevistos

FASES	ACTIVIDADES	PERIODO			
		10/02 28/02	1/03 31/03	1/04 30/04	1/05 31/05
Investigación y exploración de datos	Proponer alternativas e hipótesis.				
	Analizar los datos, encontrar patrones y extraer la información				
	Establecer la funcionalidad del proyecto				
Diseño y prototipado	Determinar software y hardware para la manipulación del estabilizador				
	Creación de un primer modelo funcional				
	Organización y pruebas piloto con la tecnología que se utilizará				
Uso y depuración del diseño	Realizar testeo con el modelo definitivo				
	Optimización y corrección de errores				
	Documentación y redacción de la memoria final				

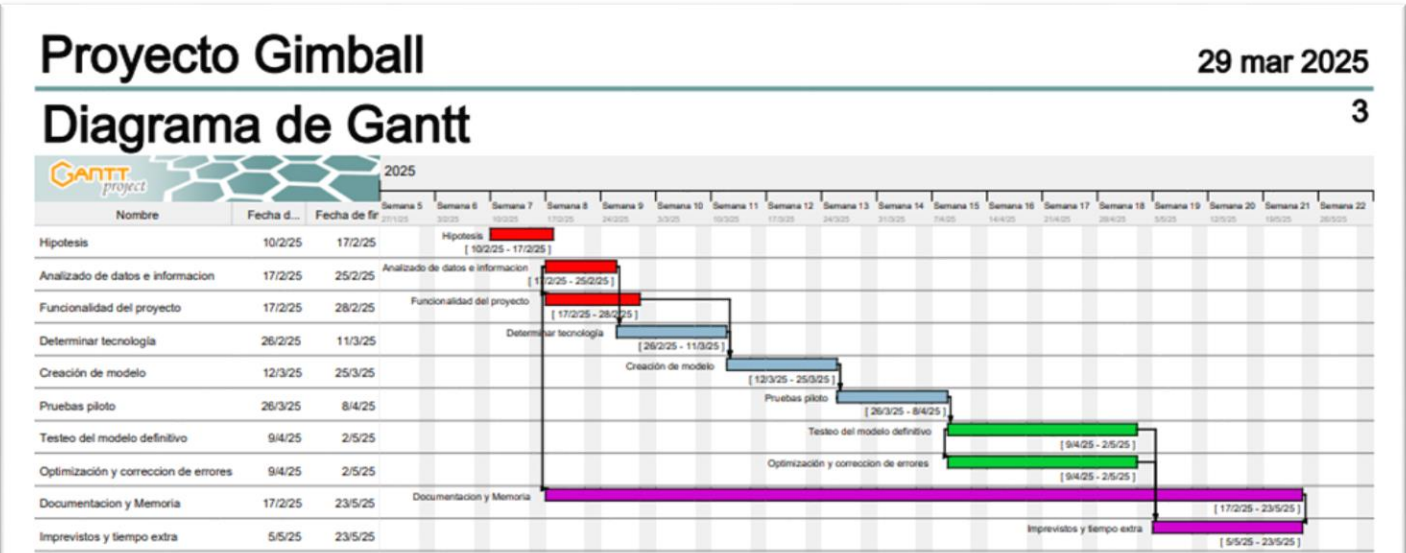
Fase final	Imprevistos y tiempo extra				
------------	----------------------------	--	--	--	--

Mensualmente así se vería el periodo de trabajo, teniendo en cuenta que en algunas etapas de nuestra planificación se trabajarán varias fases a la vez dependiendo de las dificultades que suponga cada fase:



3.2. Diagrama de Gantt.

Otra forma de planificar y gestionar el proyecto sería el Diagrama de Gantt, mostrando las tareas en una línea de tiempo y las dependencias entre tareas:



3.3. Análisis de riesgos.

Riesgo		Probabilidad		
		<i>Baja</i>	<i>Media</i>	<i>Alta</i>
Severidad	<i>Bajo</i>	5	1	8
	<i>Medio</i>	3	2	6
	<i>Alto</i>	7	4	9

Lista de riesgos:

- I. Que se rompa algún servo.
- II. Que el proveedor se retrase en el envío.
- III. Que se rompa la estructura.
- IV. Se supere la capacidad del microcontrolador.
- V. Se degenere la fuente de alimentación.
- VI. Que los servos no sean capaces de mover la estructura.
- VII. Que se queme el esp32.
- VIII. Que las tolerancias al imprimir 3D no fueran adecuadas.
- IX. Que el controlador no sea suficientemente preciso.

Problema	Probabilidad	Severidad	Plan de contingencia
<i>Que se rompa algún servo.</i>	Media	Baja	Contar con más unidades. Pruebas progresivas para someter el servo a carga excesiva
<i>Que el proveedor se retrase en el envío.</i>	Media	Media	Si es posible, esperar. Pedir prestado material necesario para poder hacer pruebas.
<i>Que se rompa la estructura.</i>	Media	Alto	Previo análisis de estructura para calcular las cargas y las características del material necesario para soportarlas. Refuerzo externo a la estructura. Una nueva impresión. Pruebas con prototipo.
<i>Se supere la capacidad del microcontrolador.</i>	Baja	Media	Optimizar el código. Alternativas de control.
	Baja	Baja	Contar con más unidades.

<i>Se degenera la fuente de alimentación.</i>			Usar diversas fuentes de alimentación.
<i>Que los servos no sean capaces de mover la estructura.</i>	Baja	Media	Adecuar la estructura, de forma que esta sea más ligera, sin modificar su forma final.
<i>Que se queme el Arduino.</i>	Baja	Alta	Contar con más unidades. (Tenemos 2).
<i>Que las tolerancias al imprimir 3D no fueran adecuadas.</i>	Alta	Baja	Lijar. Revisar medidas de diseño.
<i>Que el controlador no sea suficientemente preciso.</i>	Baja	Alta	Hacer pruebas.

4. Calendario de entregables

Para este apartado, se abordarán todas las importantes fechas de entrega del proyecto en forma de tabla, con el objetivo de tenerlas siempre presentes en el desarrollo de este.

<u>NOMBRE DE LA ENTREGA</u>	<u>FECHA</u>
Versión preliminar del SOW.	3 de abril de 2025.
Versión corregida del SOW.	Por determinar.
Informe de progreso 1.	Por determinar.
Demostrador del proyecto.	20 de mayo de 2025.
Documentación final.	4 de junio de 2025

5. Criterios de aceptación

En este punto abordaremos los criterios de aceptación, un proceso en el que vamos comprobando que los requisitos propuestos para nuestro proyecto se están llevando a cabo de una manera correcta.

Un buen planteamiento de los criterios de aceptación nos asegura un buen camino a seguir para alcanzar nuestros objetivos. Nos evita discernir entre las idílicas ideas que lamentablemente no podemos abordar en el limitado tiempo proporcionado para la elaboración del proyecto, y si centrarnos y alcanzar los objetivos principales para tener una buena arquitectura para entregar.

5.1. Criterios de aceptación

Como todo buen proyecto en grupo, la empresa comenzó con una lluvia de ideas, en la que cada integrante dejaba volar su imaginación añadiendo complejidades a la estructura básica que nos presentaba el proyecto. La propia elección sobre lo que íbamos a trabajar ya requirió de un proceso similar, y ambas coinciden en la misma hipótesis, dejar por escrito lo que vaya saliendo a la luz, pues solo así podemos pensar fríamente en cuales de las propuestas son más plausibles que otras.

Por ello, son necesarios los requisitos, como una lista de tareas a cumplir para obtener nuestro objetivo, y una vez hayamos puesto todos los marcadores “de color verde”, sabremos que hemos realizado el trabajo con éxito.

5.2. Plan de pruebas.

Las pruebas a realizar de manera secuencial para ver cómo vamos avanzando han seguido un rumbo paralelo, al igual que nuestro propio trabajo. Una parte para el equipo estructural y otra para el equipo de la electrónica y el control.

Lo presentaremos todo en una serie de tablas que nos dejarán indicado todos los aspectos más relevantes de cada test.

La parte de la arquitectura empezó haciendo un estudio de los diferentes Gimbal comerciales que se comercializan

ESTRUCTURA

TEST NUMBER	1
TEST TYPE	Estudio arquitectura.
TEST FACILITY	De forma colectiva en la facultad.
TESTED ITEM	Esquemas Gimbal
TEST LEVEL	Estudio de los Gimbal comerciales y diseño del nuestro propio en base al estudio dinámico necesario. Para ello diseñamos la estructura externa de forma esquemática
TEST CAMPAING DURATION	Una semana
TEST CAMPAING DATE	Febrero
TEST COMPLETED	Si

TEST NUMBER	2
TEST TYPE	Construcción modelo temporal.
TEST FACILITY	De forma colectiva en casa.
TESTED ITEM	Maqueta temporal.
TEST LEVEL	Para que el equipo dedicado a la electrónica y al diseño de los controladores pueda empezar a realizar experimentos con una arquitectura parecida, hacemos un diseño real temporal de madera con silicona. Probamos a ponerle peso incrementalmente y aguanta el soporte de todos los elementos necesarios con un gran margen de juego.
TEST CAMPAING DURATION	Un día.
TEST CAMPAING DATE	Marzo
TEST COMPLETED	Si

TEST NUMBER	3
TEST TYPE	Definición del Modelo 3D final
TEST FACILITY	De forma colectiva en casa.
TESTED ITEM	Estructura final.
TEST LEVEL	Diseñamos el modelo 3D final de nuestra estructura, teniendo en cuenta la incorporación posterior de toda la electrónica y los elementos de control. Todo esto en un programa de modelado 3D. Probamos a meter modelados 3D de los elementos necesarios a implementar finalmente, y cuadran con holgura dentro del esquema montado.
TEST CAMPAING DURATION	Una semana
TEST CAMPAING DATE	Marzo
TEST COMPLETED	Si

TEST NUMBER	4
TEST TYPE	Impresión del Modelo y montaje completo.
TEST FACILITY	De forma colectiva en casa.
TESTED ITEM	Estructura final completa.
TEST LEVEL	Imprimimos el diseño 3D completo de la estructura, y con todos los elementos electrónicos y los servos, montamos el producto completo. Probaremos a meterle un poco más del peso necesario para ver que los servos seleccionados son lo suficientemente buenos como para realizar los movimientos de la arquitectura completa.
TEST CAMPAING DURATION	Una semana
TEST CAMPAING DATE	Abril
TEST COMPLETED	No

ELECTRÓNICA Y CONTROL

TEST NUMBER	1
TEST TYPE	Búsqueda y pruebas de la electrónica y los servos.
TEST FACILITY	De forma colectiva en casa.
TESTED ITEM	Material necesario.
TEST LEVEL	Buscamos todo el material necesario para la electrónica y control del Gimbal, que cumplan todos los requisitos necesarios. Para ello, una vez nos llegaron, se empezaron a realizar pruebas de giros controlados con los servos de forma aislada.
TEST CAMPAING DURATION	Una semana
TEST CAMPAING DATE	Febrero
TEST COMPLETED	Si

TEST NUMBER	2
TEST TYPE	Rechazo puro a cualquier giro
TEST FACILITY	De forma colectiva en casa.
TESTED ITEM	Control de los servos en primer lugar.
TEST LEVEL	Primer paso importante, que establezca el giro de cualquier referencia. Para ello estamos dando pruebas con los diferentes controles que estamos desarrollando. En la maqueta de madera proporcionada por el equipo de estructuras, estamos intentando dejar el movimiento de los servos de forma suave “quieta” en la referencia. Una vez tengamos esto realizado, debemos de tener una forma suave de controlarlo, no solo que rechace de forma brusca, para lo que ajustaremos los servos de la estructura con diferentes amortiguadores.
TEST CAMPAING DURATION	Mes y medio
TEST CAMPAING DATE	Marzo, Abril
TEST COMPLETED	No

TEST NUMBER	3
TEST TYPE	Cambio de referencia (sin ser externo)
TEST FACILITY	De forma colectiva en casa.
TESTED ITEM	Control de los servos con cambios de referencia.
TEST LEVEL	A nivel electrónico, debemos de poder cambiar la referencia para que los motores apunten a otra posición. Para ello, una vez tengamos la estructura final impresa, debemos de poder darle una serie de puntos en la semicircunferencia que va a poder recorrer los servos de la estructura para ver que se siguen los puntos establecidos.
TEST CAMPAING DURATION	Una semana
TEST CAMPAING DATE	Abril
TEST COMPLETED	No

TEST NUMBER	4
TEST TYPE	Cambio de referencia (externo)
TEST FACILITY	De forma colectiva en casa.
TESTED ITEM	Control de los servos con cambios de referencia externa.
TEST LEVEL	Crearemos una caja externa en la que tendremos dos joysticks encargados de comunicar el cambio de referencia de los diferentes servos. Para ello, haremos pruebas similares al test anterior para recorrer la semicircunferencia.
TEST CAMPAING DURATION	Una semana
TEST CAMPAING DATE	Abril
TEST COMPLETED	No

NIVEL GENERAL

TEST NUMBER	5
TEST TYPE	Ampliaciones al proyecto.
TEST FACILITY	De forma colectiva
TESTED ITEM	Nuevos elementos a introducir.
TEST LEVEL	Reuniones para poder introducir nuevas características al Gimbal una vez terminado. Para ello, haremos pruebas para nuevos elementos como pueden ser la detección de la iluminación en el entorno, iluminando una linterna que se implementara a la arquitectura externa.
TEST CAMPAING DURATION	Una semana
TEST CAMPAING DATE	Abril
TEST COMPLETED	No

TEST NUMBER	6
TEST TYPE	Fin del proyecto, cumplimiento de todas las especificaciones.
TEST FACILITY	De forma colectiva
TESTED ITEM	Proyecto final, Gimbal completo
TEST LEVEL	Probamos que cada elemento diseñado funciona tal como se había previsto. Para ello, haremos un video que demuestre todas las funcionalidades propuestas en el proyecto, en el que forzaremos la aparición de todas las opciones que nos ofrece el Gimbal.
TEST CAMPAING DURATION	Una semana
TEST CAMPAING DATE	Mayo
TEST COMPLETED	No

6. Material y presupuesto

Como en todo buen trabajo es necesario hacer un buen estudio sobre los materiales que necesitaremos en la elaboración de nuestro proyecto, cogido de la mano de la elaboración de un presupuesto acorde al establecido por normativa, en este caso, nos ceñimos a un presupuesto máximo fijado en 80 euros.

Así, empieza una búsqueda exhaustiva para decidir en qué partes podemos ahorrar dinero y cuales son esenciales apretar un poco más la inversión de material.

6.1. *Material necesario*

Se verá un poco más en profundidad todo el material requerido para la fabricación de nuestro prototipo.

- Servomotores MG996R DIGI HI TORQUE: Son los encargados de los tres movimientos que realizarán la estabilización de nuestro Gimbal. Por cada uno de estos movimientos (orientación, cabeceo y rotación, asociados cada uno al movimiento respecto un eje cartesiano) tendremos uno de estos motores con su respectivo controlador.
- ESP-WROOM-32: microcontrolador encargado de dirigir todo el procesamiento de la información electrónica de nuestro Gimbal. Realizará los cálculos de los controladores que diseñemos junto con la información de la IMU y transmitirá las señales necesarias a los motores, así como el proceso inverso para calcular la estabilidad en todo momento.
- ARDUINO UNO: modelo de placa de la serie ARDUINO que vamos a utilizar para la lectura y procesamiento de la información proporcionada por el movimiento de los joysticks, que deberemos de comunicar con la placa ESP-WROOM-32.

- HC-05: Modulo de ARDUINO que nos hará posible una conexión bluetooth entre esta placa externa encargada del movimiento con joysticks de los motores, y la ESP-WROOM-32 interna encargada de todo el procesamiento de información general, la cual cuenta ya en si con su propio módulo de conexión bluetooth.
- IMU GY-91: Se encarga de darnos información en todo momento de su aceleración angular, altura y giros en los ejes cartesianos XYZ. Lo utilizaremos para fijar un punto de referencia, que comunicaremos con los motores, actuando estos en posición para estabilizar la cámara.
 - *MPU9250*: Chip encargado de la orientación y la velocidad de la IMU con un magnetómetro incluido. Viene integrado en la placa GY-91.
 - *Barómetro*: Encargado de medir las fuerzas gravitacionales de la IMU en base a la presión ejercida sobre él. Es el otro componente que viene soldado en la GY-91.
- PLA: Este es el material elegido para la impresión 3D debido a su buena resistencia además de su facilidad para impresión y sin olvidarnos que su precio se ajusta a lo que necesitamos.
- Joysticks: encargados de mover la referencia de los ejes.

6.2. Presupuesto

Para resumir todos los gastos lo veremos en la siguiente tabla:

Material	Precio
Arduino UNO	Cortesía de Javier Gil León
ESP-WROOM-32	Cortesía de Javier Gil León
Servomotores MG996R DIGI HI TORQUE	11 €
IMU GY-91	12.19 €
Maqueta	5.7 €
PLA	3.5 €
Cojinete de rodillo Métrico Cónico	5.77 €
HC-05	2.1 €
Joysticks	Cortesía de Jaime Garrido González
Total	40.26 €

7. Referencias

Introducción:

- (1) <https://goo.su/Yfc1j> (Producto de amazon, se accedió el 26/03/2025)
- (2) <https://es.wikipedia.org/wiki/Steadicam> (Editada por última vez el 7 mar 2025, se accedió el 26/03/2025)

Estado del arte:

- (3) <https://goo.su/erZSwT> (Se accedió el 26/03/2025)

Imágenes:

- (4) <https://goo.su/XVyvhE> (Editada por última vez el 7/03/2025, se accedió el 26/03/2025)
- (5) <https://goo.su/P9zcAJu> (Producto de Mediamarkt, se accedió el 26/03/2025)
- (6) <https://goo.su/fsresbv> (Producto de amazon, se accedió el 01/04/2025)
- (7) <https://goo.su/ZFgrXO> (Producto de amazon, se accedió el 01/04/2025)
- (8) <https://goo.su/ffAz1t> (Producto de amazon, se accedió el 01/04/2025)

