



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTABILIZADOR DE TRES EJES  
PARASMARTPHONE.**

**Autores:**

Gutiérrez M. Cecilia D.  
Rumbo B. Luis A.

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA UNIVERSIDAD  
JOSÉ ANTONIO PÁEZ FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTABILIZADOR DE TRES EJES  
PARASMARTPHONE.**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
**INGENIERO MECÁNICO**

**Autores:** Gutiérrez M. Cecilia D. Rumbo B. Luis A.

**Tutor:**  
Ing. Giovanni Pizzella

San Diego, Enero 2021

ANEXO X-2



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA MECÁNICA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTABILIZADOR DE DOS EJES PARA SMARTPHONE

Realizado por el (la) Br. Luis Romeros

C.I. N° 27922608 cursante de la carrera de ING MECÁNICA

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

[Signature]  
Tutor Académico (Coordinador)  
Nombre: GIOVANNI PIZZELLI P  
C.I.: 4455859

[Signature]  
Jurado  
Nombre: LUIS ORTEGA  
C.I.: 3476801

[Signature]  
Jurado FREDY BARRAGAN S  
Nombre:  
C.I.: 11151678

Fecha: 24 / 01 / 2022



ANEXO X-2



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
COORDINACIÓN DE PASANTÍA Y TRABAJO DE GRADO

ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERÍA MECÁNICA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTABILIZADOR DE TRES EJES PARA SMARTPHONE

Realizado por el (la) Br. CECILIA GUTIÉRREZ  
C.I. N° 27084261 cursante de la carrera de INGENIERÍA MECÁNICA  
hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

Tutor Académico (Coordinador)  
Nombre: GIOVANNI PIZZELLA  
C.I.: 4455899

El Jurado

Jurado FREDY BARRALCAN  
Nombre:  
C.I.: 11151678

Jurado LUIS ORTEGA  
Nombre:  
C.I.: 3476861

Fecha: 24/01/2022



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DECANATO DE INGENIERÍA



FI-N-005-2021-1CR-TG

Valencia, 15 de noviembre de 2021

Ciudadanos:

Rumbo Bastardo, Luis Alfonso

C.I. 27.922.608

Gutierrez Marcano, Cecilia de los Angeles

C.I.27.084.261

Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 6-2021 de fecha 15/10/2021 aprobó el proyecto de grado titulado:

**Diseño y construcción de estabilizador de tres ejes para smartphone**

Presentado por ustedes como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico

Se ratifica la designación del Tutor Académico que los asesorará en el desarrollo de este proyecto a:  
Ing. Giovanni Pizzella Pierro, titular de la cédula de identidad V-4.455.859



Atentamente

*Francisco Gelanzé Sevilla*  
**Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.**  
**Decano de Ingeniería**




REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE MECÁNICA

### CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quien suscribe, Giovanni Pizzella P, portador de la cédula de identidad N° 4455859, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Gutiérrez Marcano. Cecilia D. titular de la cédula de identidad N° 27.084.261 y Rumbo B. Luis A., portador de la cédula de identidad N° 27.922.608, respectivamente, titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTABILIZADOR DE TRES EJES PARA SMARTPHONE”**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Mecánico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los trece días del mes de enero del año dos mil veintidós.

  
Giovanni Pizzella Pierro  
C.I. N° 4455859

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de grado va dedicado primeramente a Dios, quien no ha permitido recorrer este largo camino en esta casa de estudios, dándonos salud y sabiduría para alcanzar cada uno de los objetivos que fueron trazados durante este periodo formativo. A mis padres Bastardo Raíza C. y Rumbo Félix R. quienes durante todo el proceso estuvieron presentes, guiándome, aconsejándome y sobre todo dándome su confianza y el apoyo que necesite en esos momentos difíciles, sin ellos no hubiera sido posible. A mis familiares quienes fueron ese pilar de amor, consejos y constante motivación durante todos estos años. No me queda mas que agradecerles desde lo mas profundo de mi ser, todo se los debo a ustedes.

A los Ing. Mecánicos Luis Marcano, padre e hijo, quienes fueron un ejemplo a seguir durante toda mi carrera, con un apoyo constante en lo que necesitara y una incontable cantidad de consejos que me permitieron tomar las decisiones correctas durante todo este ciclo universitario.

A todos los profesores que formaron parte de nuestra formación durante la carrera otorgándonos esos conocimientos esenciales y transmitiéndonos siempre esa experiencia que han podido desarrollar con el pasar de los años. A cada una de las amistades que me ha dejado este largo camino universitario con lo que he compartido conocimientos y experiencias inolvidables.

**Luis Rumbo**

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a Dios primeramente por permitir la realización de este trabajo de investigación, y darnos salud para poder llevarlo a cabo con éxito, a mi casa de estudios la universidad de Carabobo y la Universidad José Antonio Páez que me acogió y permitió culminar mi carrera universitaria y con ella todos los profesores que han sido el pilar de mi formación como ingeniero.

Agradezco a mi Papi, Pedro Luis Gutiérrez, que me acompaña desde el cielo, porque es mi motivación mas grande y gracias a él soy lo que soy actualmente en la mayoría de los aspectos de mi persona y vida, a mi madre Alejandra Marcano y mis hermanos por ser mi compañía y motivación diaria.

Mi novio, José Miguel Ruiz, mi apoyo emocional, y técnico, por ser sumamente inteligente, le agradezco profundamente por haberme soportado en este trayecto lleno de emociones y locura con la mejor actitud.

A las personas que fueron parte fundamental de este proyecto por su apoyo, la señora Miriam por recibirnos a Rumbo y a mí en su casa y ser mi mamá en Barquisimeto esos 2 meses llenos de angustia y locura, al ing. Alejandro Oliveros por enseñarme que ser mujer en el mundo de la ingeniería es una labor complicada y por último, pero no menos importante a mi mejor amigo el ing. Amer Kamal, por enseñarme y explicarme con paciencia (poca) y amor (mucho) todo lo que no entendía de las conexiones de Arduino y dispositivos electrónicos.

**Cecilia Gutiérrez**

**ÍNDICE**  
**CONTENIDO** **Pág.**

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| ÍNDICE DE FIGURAS .....   | xii |
| INDICE DE TABLAS .....    | xv  |
| RESUMEN INFORMATIVO ..... | xvi |
| INTRODUCCIÓN .....        | 1   |

**CAPÍTULO**

**I EL PROBLEMA**

|  |   |
|--|---|
| 1.1. Planteamiento del problema.....     | 3 |
| 1.2. Formulación del problema.....       | 4 |
| 1.3. Objetivos de la investigación ..... | 4 |
| 1.3.1. Objetivo General.....             | 4 |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....       | 4 |
| 1.4. Justificación .....                 | 4 |
| 1.5. Alcance .....                       | 5 |
| 1.6. Limitaciones .....                  | 6 |

**II MARCO TEÓRICO**

|  |    |
|--|----|
| 2.1. Antecedentes .....                        | 7  |
| 2.1.1 Antecedente Internacional.....           | 7  |
| 2.2 Bases teóricas .....                       | 9  |
| 2.2.1 Gimbal.....                              | 9  |
| 2.2.2 Funcionamiento de Gimbal .....           | 10 |
| 2.2.3 Steadicam .....                          | 11 |
| 2.2.4 Glidecam .....                           | 14 |
| 2.2.5 Estabilizador de mano .....              | 15 |
| 2.2.6 Trípode .....                            | 16 |
| 2.2.7 Actuadores.....                          | 16 |
| 2.2.8 Unidad de Medición Inercial (IMU) .....  | 16 |
| 2.2.9 Unidad de medición Inercial MPU6050..... | 17 |
| 2.2.10 Acelerómetro .....                      | 18 |
| 2.2.11 Giróscopo .....                         | 18 |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.12 Efecto giroscópico .....                          | 19 |
| 2.2.13 Arduino .....                                     | 21 |
| 2.2.14 Servomotores .....                                | 24 |
| 2.2.15 Motores sin escobillas (BLDC).....                | 25 |
| 2.2.16 Vibraciones.....                                  | 27 |
| 2.2.17 Sistemas CAD/CAM.....                             | 28 |
| 2.2.18 SolidWorks .....                                  | 30 |
| 2.2.19 Autodesk Inventor.....                            | 30 |
| 2.2.20 Fibra de Carbono .....                            | 30 |
| 2.2.21 Propiedades de la fibra de carbono .....          | 31 |
| 2.2.22 Elastómeros termoplásticos.....                   | 33 |
| 2.2.23 Aleación de Magnesio-Aluminio .....               | 34 |
| 2.2.24 Módulo de elasticidad .....                       | 35 |
| 2.2.25 Coeficiente de Poisson.....                       | 36 |
| 2.2.26 Densidad.....                                     | 37 |
| 2.2.27 Limite elástico .....                             | 37 |
| 2.2.28 Límite de rotura.....                             | 37 |
| 2.3 Definición de términos básicos .....                 | 38 |
| <b>III MARCO METODOLÓGICO</b>                            |    |
| 3.1 Tipo de Investigación.....                           | 39 |
| 3.2 Diseño de la investigación .....                     | 40 |
| 3.3 Nivel de investigación.....                          | 40 |
| 3.4. Población y Muestra .....                           | 41 |
| 3.4.1 Población.....                                     | 41 |
| 3.4.2 Muestra.....                                       | 41 |
| 3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos..... | 41 |
| 3.5.1 Técnicas de Recolección de Datos .....             | 41 |
| 3.5.1.1 Observación directa .....                        | 41 |
| 3.5.1.2 Revisión Documental.....                         | 41 |
| 3.5.1.3 Entrevista .....                                 | 42 |
| 3.5.2 Instrumentos de Recolección de Datos .....         | 42 |
| 3.5.2.1 Computadora.....                                 | 43 |
| 3.5.2.2 Grabadora de celular.....                        | 43 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| 3.5.2.3   | Guion de Entrevista .....   | 43  |
| 3.5.2.4   | Registro Fotográfico .....  | 43  |
| 3.6       | Fases de la investigación .....   | 43  |
| <b>IV</b> | <b>RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>   |     |
| 4.1.      | Establecer los parámetros que debe cumplir el estabilizador de tres ejes .....  | 46  |
| 4.1.1     | Identificación de las necesidades del usuario .....   | 46  |
| 4.1.2     | Estudio de las características más resaltantes de los estabilizadores de<br>smartphone que se encuentran actualmente en el mercado venezolano ... | 49  |
| 4.1.3     | Estudio de las formas de sujeción de smartphone que se encuentran<br>actualmente en el mercado venezolano .....                                   | 52  |
| 4.2       | Diseñar un modelo que cumpla con los parámetros y exigencias requeridas<br>por el usuario .....   | 54  |
| 4.2.1     | Analogía utilizada para el diseño del estabilizador .....   | 55  |
| 4.2.2     | Dimensionamiento de los brazos o eslabones del estabilizador .....  | 59  |
| 4.2.3     | Calculo y selección de los actuadores.....  | 66  |
| 4.2.4     | Diseño del dispositivo .....  | 59  |
| 4.3.      | Analizar la posibilidad de incorporar un dispositivo de movilidad .....   | 102 |
| 4.4.      | Evaluar su factibilidad en cuanto a diseño y costo en Venezuela .....   | 107 |
| 4.4.1     | Análisis de Costos.....   | 107 |
| 4.4.2     | Costo Diseño .....  | 107 |
| 4.4.3     | Análisis del posicionamiento del dispositivo dentro del mercado .....   | 111 |
| 4.5.      | Realización del prototipo.....  | 112 |
|           | <b>CONCLUSIONES</b> .....   | 116 |
|           | <b>RECOMENDACIONES</b> .....  | 117 |
|           | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....   | 118 |
|           | <b>ANEXOS</b> .....   | 121 |

## LISTA DE FIGURAS

| <b>FIGURA</b> |  | <b>Pág.</b> |
|---------------|--|-------------|
| 1             | Gimbal de tres ejes. Fuente: Kuzey, (2007) .....                       | 10          |
| 2             | Ejemplo de funcionamiento del Gimbal. Fuente .....                     | 11          |
| 3             | Uso de steadicam.....  | 14          |
| 4             | Modelo de Glidecam .....   | 15          |
| 5             | Ejemplo de estabilizador de mano.....                                  | 15          |
| 6             | Modelo de trípode .....  | 16          |
| 7             | Circuito MPU6050 (Señalización de los ejes).....                       | 17          |
| 8             | Circuito MPU6050 .....   | 18          |
| 9             | Fuerza de Rotación.....  | 20          |
| 10            | Circuito MPU6050 .....   | 22          |
| 11            | Circuito Arduino Micro.....  | 23          |
| 12            | Circuito Arduino con shields .....                                     | 24          |
| 13            | Componentes internos de un servomotor.....                             | 25          |
| 14            | Motor sin escobillas para gimbal.....                                  | 27          |
| 15            | Proceso de diseño empleando herramientas CAD .....                     | 29          |
| 16            | Propiedades de algunas fibras según el entramado.....                  | 33          |
| 17            | Lingotes y bobinas de láminas de magnesio con un espesor de solo 3 mm  | 35          |
| 18            | Representación gráfica de las deformaciones longitudinales .....       | 36          |
| 19            | Deformación de los materiales en función los esfuerzos aplicados.....  | 38          |
| 20            | Sujeción magnética .....   | 52          |
| 21            | Sujeción Mecánica .....  | 53          |
| 22            | Fijador electromecánico automático .....                               | 54          |
| 23            | Robot UR3 .....  | 55          |
| 24            | Modelo de un brazo robótico con cuatro grados de libertad .....        | 56          |
| 25            | Tipos de articulaciones y sus grados de libertad .....                 | 57          |
| 26            | Configuración cinemática básica del estabilizador .....                | 58          |
| 27            | Configuración cinemática básica del estabilizador (corregida) .....    | 59          |
| 28            | Smartphone redimensionado en SolidWorks.....                           | 62          |
| 29            | Configuración cinemática básica con las longitudes a dimensionar ..... | 63          |
| 30            | Configuración cinemática con las longitudes dimensionadas .....        | 64          |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 31 | Configuración cinemática con smartphone horizontal .....        | 65 |
| 32 | Configuración cinemática con smartphone vertical .....          | 65 |
| 33 | Configuración cinemática con identificación de los ejes .....   | 67 |
| 34 | Fuerzas que actúan sobre la articulación 3 .....                | 69 |
| 35 | Fuerzas que actúan sobre la articulación dos.....               | 70 |
| 36 | Fuerzas que actúan sobre la articulación tres.....              | 71 |
| 37 | D4215-11 De 650 Kv Marca Rcx .....                              | 74 |
| 38 | Características del motor bushless .....                        | 74 |
| 39 | Dimensiones y peso del motor .....                              | 75 |
| 40 | Ruta de diseño para el prototipo .....                          | 76 |
| 41 | Detalle del D4215-11 De 650 Kv Marca Rcx .....                  | 76 |
| 42 | Modelo 3D Solidworks 2018 .....                                 | 77 |
| 43 | Propiedades físicas de la fibra de carbono.....                 | 78 |
| 44 | PLA propiedades mecánicas .....                                 | 78 |
| 45 | ABS propiedades mecánicas.....                                  | 79 |
| 46 | Esquema de funcionamiento básico .....                          | 81 |
| 47 | Esquema de funcionamiento .....                                 | 81 |
| 48 | Arduino nano 168p.....  | 82 |
| 49 | MPU-6050 .....  | 84 |
| 50 | Sistema de resortes que mide la aceleración en el IMU .....     | 85 |
| 51 | Velocidad angular .....   | 85 |
| 52 | Sistema de coordenadas en el IMU .....                          | 86 |
| 53 | Conexión con Arduino .....                                      | 86 |
| 54 | Controlador ESC 40v .....                                       | 87 |
| 55 | Conexión con Arduino de controlador ESC y motor Brushless ..... | 87 |
| 56 | Joystick KY-023.....  | 88 |
| 57 | Joystick KY-023 con Arduino .....                               | 88 |
| 58 | Bateria de Lipo.....  | 89 |
| 59 | Ajuste forzado .....  | 90 |
| 60 | Mango del dispositivo .....                                     | 91 |
| 61 | Diseño completo del estabilizador renderizado .....             | 92 |
| 62 | Vista explosionada del estabilizador .....                      | 92 |
| 63 | Mango del estabilizador con cubierta de goma.....               | 93 |

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 64 | Cubierta de goma .....  | 94  |
| 65 | Propiedades físicas del prototipo .....                                   | 95  |
| 66 | Prototipo con delimitado con ubicación de centro de masa .....            | 96  |
| 67 | Análisis de tensión de VM del brazo 1 de soporte de smartphone .....      | 98  |
| 68 | Análisis de tensión de VM del brazo.....                                  | 99  |
| 69 | Análisis de tensión de VM del brazo tres.....                             | 100 |
| 70 | Análisis de tensión de VM del mango del estabilizador .....               | 101 |
| 71 | Base del dispositivo de movilidad.....                                    | 103 |
| 72 | Vista Frontal de Base de Estabilizador Retraída.....                      | 104 |
| 73 | Vista Isométrica de Base de Estabilizador Retraída.....                   | 104 |
| 74 | Base de Estabilizador con Extensión.....                                  | 105 |
| 75 | Vista frontal e isométrica de la base acoplada con estabilizador.....     | 106 |
| 76 | Vista frontal de la base con extensión acoplada con el estabilizador..... | 106 |
| 77 | Componentes electrónicos .....  | 114 |
| 78 | Componentes electrónicos .....  | 115 |

## LISTA DE TABLAS

| <b>TABLA</b>  | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| 1 Resultados de entrevista a Edsel Sierra .....   | 47          |
| 2 Comparación de los gimbal para smartphone existentes en el mercado .....              | 50          |
| 3 Características de los smartphones disponibles en el mercado venezolano ....          | 60          |
| 4 Promedio de dimensiones físicas de smartphones en el mercado .....                    | 61          |
| 5 Tabla de parámetros de Denavit Hartenberg .....                                       | 67          |
| 6 Criterios para la selección de los actuadores .....                                   | 72          |
| 7 Características del MPU 6050 .....  | 86          |
| 8 Cálculo de la potencia necesaria .....  | 89          |
| 9 Carga total soportada por el brazo 2.....   | 99          |
| 10 Carga total soportada por el brazo 1.....  | 100         |
| 11 Costos de componentes y material utilizado para la producción a gran<br>escala ..... | 109         |
| 12 Costos del Personal .....  | 110         |
| 13 Gastos generados por la empresa para la fabricación.....                             | 110         |
| 14 Inversión total de la empresa .....  | 110         |
| 15 Razón beneficio/costo del estabilizador para ISKRATRONICS C.A .....                  | 110         |



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
ESCUELA DE MECÁNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTABILIZADOR DE TRES EJES  
PARASMARTPHONE.**

**Autor:** Gutiérrez Cecilia

Rumbo Luis

**Tutor:** Ing. Giovanni Pizzella

**Fecha:** Julio 2021

**RESUMEN INFORMATIVO**

Los estudios para el desarrollo de las nuevas tecnologías cada vez son más avanzados, lo cual ha permitido el desarrollo de teléfonos móviles cada vez más potentes, con ello su implementación en otro tipo de actividades para los que originalmente no fueron pensados ya es una realidad, podemos encontrar teléfonos de gama media y alta con los que ya, a día de hoy se crea contenido audiovisual para las redes sociales, documentales e incluso la industria cinematográfica. Considerando esto llevaremos a cabo el diseño, la realización del modelo en el software de modelado mecánico SolidWorks y posterior fabricación del prototipo de un estabilizador de tres ejes para Smartphone para ISKRATRONICS C.A. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general llevar esto a cabo a un bajo costo, en Venezuela. La metodología de la investigación corresponde a un proyecto factible, apoyado en una investigación descriptiva, bajo un diseño de campo y experimental. Con respecto a las técnicas de recolección de datos emplearemos la observación directa, revisión documental y la entrevista como técnicas principales. El presente trabajo de investigación está enmarcado en la línea de investigación de DISEÑO.

**Descriptor:** Smartphone, gimbal, estabilizador, motor, actuadores, giroscopio, Arduino.

## INTRODUCCIÓN

Desde la década de los 80's existen los estabilizadores o gimbal para cámaras cinematográficas profesionales, se han ido desarrollando a través de los años para generar hasta el día de hoy una estabilidad en la toma casi perfecta, no obstante, actualmente los smartphones se han abierto paso, no solo para la creación de contenido independiente sino en la industria cinematográfica, teniendo actualmente películas, cortometrajes, vídeos para plataformas digitales como YouTube, Instagram, TikTok, entre otros, que han sido grabadas en su totalidad con smartphones de gama alta, creando la necesidad de poseer equipos auxiliares que mejoren estas tomas, atenuando las perturbaciones mecánicas que afectan la calidad del video, los gimbal o estabilizadores para smartphones tienen poco más de 4 años en el mercado, presentando múltiples fallas que han generado descontento en los usuarios, ya que estas se presentan al momento de estabilizar las tomas y sus costos suelen ser bastante elevados.

En el mercado actual los productos relacionados con accesorios para la estabilización de equipos de vídeo no se encuentran al alcance del consumidor medio, y menos en un país que atraviesa una crisis económica donde los productos importados suelen ser hasta un 60% más costosos que en el extranjero, aquí surge la necesidad de fabricar dichos productos en territorio nacional, reduciendo los costos considerablemente, a través de un análisis del mercado que ofrece este tipo de productos, el cual en Venezuela es casi inexistente.

El diseño y construcción de equipos mecánicos a bajo costo para la industria cinematográfica en Venezuela es uno de los tantos campos que abarca ISKRATRONICS C.A. como empresa que busca estar a la vanguardia tecnológica tiene como objetivo la fabricación de equipos dirigidos al cine, también pretende innovar en el mercado de la creación de contenido independiente, realizado en su

gran mayoría a través de los smartphones o teléfonos inteligentes, abriendo sus puertas a un nivel de producción y comercialización mucho más amplio.

A su vez, es importante hacer mención a la estructura que regirá este trabajo de investigación:

Capítulo I: Comprende lo relacionado con la necesidad que se busca satisfacer a través del planteamiento del problema, su formulación, los objetivos generales y específicos de la investigación, así como su justificación, alcance y limitaciones.

Capítulo II: Hace referencia todo lo relacionado al marco teórico, donde con apoyo de investigaciones previas abarca los antecedentes, las bases teóricas y legales, así como la definición de términos básicos.

Capítulo III: Marco Metodológico, contiene el nivel de la investigación, el tipo, diseño y nivel de la investigación, su población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y finalmente, las fases de la investigación

Capítulo IV: Resultados, esta comprendido por el desarrollo de cada una de las fases del presente trabajo de investigación.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1. Planteamiento del problema**

El gran desarrollo en cuanto a la calidad de las cámaras de los teléfonos inteligentes ha derivado que estos sean cada vez más utilizados para producciones audiovisuales tanto de exploración personal como profesional, actualmente existen películas que han sido grabadas totalmente con teléfonos inteligentes de gama alta, incluso programas de televisión recurren frecuentemente al uso de estos dispositivos en vez de las convencionales cámaras de video profesionales ya que el mundo actual exige información de forma inmediata, su uso más común es la creación de contenido para RRSS (redes sociales), para obtener una buena calidad de video es necesario que el equipo se mantenga completamente estable, cosa que se dificulta al momento de grabar mientras el operador se encuentra en movimiento, lo que sucede frecuentemente.

Actualmente en el mercado existen algunos dispositivos que prometen una estabilidad al momento de grabar con un teléfono inteligente, la realidad es que estos poseen un valor muy elevado, y presentan fallas como una presencia de ligera inestabilidad, a los usuarios les genera inseguridad que los soportes no parecen lo suficientemente confiables y temen que el teléfono no esté acoplado perfectamente.

En su mayoría estos dispositivos son manuales, presentan un diseño que resulta incómodo al tacto y dificulta la movilidad, existen muy pocos en el mercado que ofrecen gran estabilidad además de estar automatizados, generalmente si cumplen estas dos características suelen tener precios muy elevados por lo que son poco accesibles para que pequeños creadores de contenido audiovisual, pero sobre todo muy poco accesible para el mercado venezolano, ya que al precio final siempre hay que añadirle el costo de importación, tomando en cuenta que en el territorio

nacional ninguna empresa realiza la fabricación de este tipo de accesorios.

## **1.2. Formulación del problema**

Una vez definido el problema se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo resolver el problema de estabilidad al momento de realizar un video con un Smartphone en movimiento?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar y construir a bajo costo un estabilizador de tres ejes para Smartphone en Venezuela.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

1. Establecer los parámetros que debe cumplir el estabilizador de tres ejes.
2. Diseñar un modelo que cumpla con los parámetros y exigencias requeridas por el usuario.
3. Analizar la posibilidad de incorporar un dispositivo de movilidad
4. Evaluar su factibilidad en cuanto a diseño y costo en Venezuela.
5. Desarrollar el prototipo del estabilizador de tres ejes.

## **1.4. Justificación**

El uso masivo de los teléfonos inteligentes en la actualidad para la creación de contenido audiovisual tanto para publicidad, marketing, arte y entretenimiento hace que en la actualidad se les exija a estos creadores una calidad de vídeo superior, este trabajo de investigación pretende ofrecer a uno de los mercados más ávidos en cuanto a tecnología de producción nacional en el mundo como es Venezuela el diseño y fabricación a bajo costo de un estabilizador de teléfonos, de la mano de ISKRATRONICS la única empresa en Venezuela que diseña y fabrica accesorios tanto para producción cinematográfica como para teléfonos inteligentes.

Actualmente se calcula que 48.53% de la población mundial usa un teléfono inteligente, por lo que esta cifra representa tres mil 800 millones de usuarios alrededor del mundo, en Venezuela representa un 64% de la población,

aproximadamente 18 millones de personas, cada vez son más las actividades que dependen de estos dispositivos, el documentarlas se ha vuelto más que necesario, en el ámbito estudiantil resulta de gran utilidad para documentar clases, exposiciones o determinados procesos de interés con una calidad óptica estable, que debido a los tiempos de pandemia que se están viviendo no pueden ser vistos personalmente.

A nivel social se ofrece un avance para todos aquellos que se dediquen a la creación de material audiovisual por medio de las cámaras de sus teléfonos inteligentes en Venezuela, otorgándoles un estabilizador para los mismos a un bajo costo ya que su fabricación y comercialización será en territorio nacional se eliminan los costos de importación, que le permitirá la creación de contenido de mayor calidad para sus proyectos independientemente del ámbito al que se enfoquen, con un diseño que consta de tres ejes los cuales permitirán la estabilización de la imagen sin importar que el usuario se encuentre en constante movimiento.

Para llevar a cabo el diseño y fabricación de este prototipo se debe poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera en materias como Diseño en Ingeniería mecánica y Diseño asistido por computadora para el modelado del prototipo, Elementos de Máquina I y II para considerar los esfuerzos, deformaciones y estudio de fuerzas aplicadas a las que este se puede ver sometido así como también Materiales I y II para la selección del material que mejor se adapte para la fabricación de este modelo de estabilizador.

### **1.5. Alcance**

Con el desarrollo de este proyecto de investigación se pretende obtener un prototipo funcional de estabilizador de tres ejes para teléfonos inteligentes, siguiendo los lineamientos previamente descritos en los objetivos trazados para este trabajo de investigación.

Este diseño se realizará mediante el uso del software para modelado

mecánico SolidWorks, en el cual podremos evaluar el modelo en 3D del prototipo y realizar el análisis previo, para su posterior fabricación con los materiales seleccionados esto de la mano de ISKRATRONICS.

### **1.6. Limitaciones**

El presente proyecto desarrollará un solo prototipo de estabilizador de tres ejes únicamente para teléfonos inteligentes, con los componentes mecánicos y electrónicos que sean necesarios a lo largo de la investigación.

La construcción del prototipo se realizará en las instalaciones de ISKRATRONICS en Barquisimeto, estado Lara, Venezuela.

El costo por fabricación de un solo dispositivo debe estar por debajo del precio de accesorios similares en el mercado nacional e internacional.

El diseño mecánico será propiedad de ISKRATRONIC.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

El marco teórico, se define como el soporte teórico, contextual o legal de los conceptos que se utilizaron para el planteamiento del problema en la investigación, esta recopilación de contenido tiene como objetivo poder demostrar cuál es el aporte novedoso que el proyecto de investigación va a hacer en su área de conocimiento respectiva, Fidiás G. Arias (2006) dice “El marco teórico o marco referencial, es el producto de la revisión documental-bibliográfica, y consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación por realizar.”

#### **2.1. Antecedentes**

Se definen los antecedentes como “Todo hecho anterior a la formulación del problema que sirve para aclarar, juzgar e interpretar el problema planteado, constituye los antecedentes.” (Tamayo y Tamayo, Mario, 2004). Desde la década de los 80 se diseñan y comercializan estabilizadores de para cámara de video profesionales, y a lo largo de los años estos modelos han variado y se han ido perfeccionando hasta actualmente tener equipos que ofrecen una estabilidad casi perfecta, estos gimbal o estabilizadores para cámaras de vídeo servirán como base para el diseño del estabilizador para smartphones en vez de las convencionales cámaras de vídeo siguiendo y considerando algunos de sus parámetros esenciales. Como antecedentes para el análisis que se desarrolla en el presente trabajo se tiene una serie de trabajos de investigación que sirven como apoyo para el diseño del estabilizador.

##### **2.1.1 Antecedente Internacional**

Ullauri, Juan (2020) desarrolló un trabajo de investigación titulado “**Diseño y construcción de un estabilizador de imagen tipo gimbal**” en la universidad internacional de ecuador para optar por el título de ingeniero mecánico, se

desarrollaron una serie de estudios para determinar correctamente los componentes involucrados, realizando análisis estáticos y de flujo estableciendo esfuerzos, fuerzas, torques, etc. que influyan al mecanismo, así dimensionar piezas y actuadores capaces de soportar las condiciones de vuelo. En el diseño electrónico se muestran los elementos necesarios que controlan el sistema, tomando en cuenta las especificaciones del componente, de esta manera, se diseñó la placa electrónica de control del estabilizador y la placa de mando de comunicación. Finalmente, se completa el diseño global del proyecto con el bloque de lógica de control mostrando cómo se utilizó y programó cada elemento, también se realiza la adquisición de datos de la IMU y su posterior tratamiento mediante filtros, e indica el desarrollo utilizado en el control automático.

El diseño y posterior desarrollo del prototipo de un gimbal para cámaras profesionales va de la mano con el diseño de un gimbal o estabilizador para un Smartphone. Ambos comparten la función principal, mantener estable el equipo que graba cuando el operador se encuentra en movimiento, que en el caso de la investigación se refiere a cámaras tipo “go- pro”, en nuestro caso necesitamos un modelo que se adapte a cualquier Smartphone.

Así mismo García Marina (2016) desarrolló el **“Diseño y prototipado de un soporte giroscópico para cámara deportiva”** en la universidad politécnica de Cataluña para optar por el título de ingeniero mecánico, realizó un estudio de mercado con el fin de mejorar los soportes ya existentes. Con el resultado de este estudio, se ha diseñado y fabricado un prototipo. Este ha sido fabricado con el método de impresión 3D, con el cual se han realizado varias pruebas donde se han podido observar problemáticas en el diseño. Estos datos han servido para llevar a cabo un rediseño de las piezas y una configuración óptima del sistema electrónico de control. Este diseño se optimizó para ser fabricado según el método de moldeo por inyección. Una vez finalizado el diseño, se ha comprobado con cálculos y simulaciones mediante el software Siemens NX según el método de elementos

finitos. Para concluir se han hecho los presupuestos para llevar a cabo el proyecto, en los cuales se encuentran la fabricación del prototipo y la realización del proyecto. Se desestimaron los costes relacionados con la fabricación del producto final y su salida al mercado, ya que esto lo lleva a cabo el cliente.

Este proyecto nos proporciona ayuda en la parte del estudio de mercado y estimación de costos de producción, también con el diseño ya que este soporte es giroscópico está diseñado para altas velocidades y para condiciones extremas, esto es de gran ayuda ya que queremos que nuestro estabilizador sea lo más versátil posible.

## **2.2 Bases teóricas**

Arias (2006) las define como “el conjunto de conceptos y proposiciones que constituyen un punto de vista o enfoque determinado, dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado. Esta sección puede dividirse en función de los tópicos que integran la temática tratada o de las variables que serán analizadas. “Por ello los siguientes conceptos planteados serán de vital importancia para el sustento de la investigación, que orientará a la correcta sistematización del contenido y facilitará la comprensión del desarrollo de la investigación.

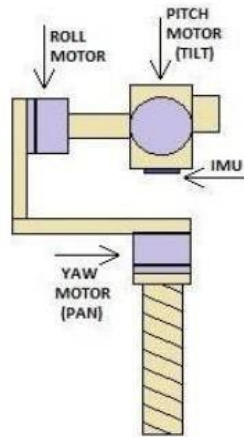
### **2.2.1 Gimbal**

Es uno de los términos más importantes en los que se fundamenta la presente investigación, define y explica el funcionamiento del mismo, así como también nos indica su uso.

El Gimbal es un estabilizador de cámaras u otros objetos. De manera que cuando el usuario este grabando en movimiento las capturas sean óptimas. Así, se puede mover libremente mientras graba sin temer a que las imágenes obtenidas no sean estables. El gimbal es una herramienta que se usa en la producción de cine y televisión. (Ferreño, 2017) Penalva (2019), en la página web de Xataka lo define como:

“Un estabilizador de vídeo o Gimbal es un sistema electro-mecánico cuyo

objetivo principal es contrarrestar las vibraciones y/o el movimiento indeseado que se produce en la cámara al movernos con el smartphone mientras grabamos, y suavizar el movimiento general de la cámara”. (p.4).



**Figura 1.** Gimbal de tres ejes.

Fuente: Kuzey, (2007)

En la figura 1 se puede observar los motores que conforman la estructura de un Gimbal de tres ejes entre ellos se tiene el Motor “Pitch” encargado de estabilizar el eje longitudinal, el Motor “Roll” realiza la misma función, pero en el eje transversal y el motor “Yaw” el eje vertical. Se tiene en la parte inferior del Motor “Pitch” la unidad de medición inercial “IMU” encargada de otorgar los valores para lograr la estabilización del dispositivo.

### 2.2.2 Funcionamiento de Gimbal

El funcionamiento viene dado por las partes que lo componen, estas son la montura o estructura, dos o tres motores, la Unidad de Medición Inercial (IMU) y un controlador.

En la página Web Compra Drones Online (2017), definen de manera breve la función que cumple cada uno de estos elementos:

- Montura: Es la plataforma donde se coloca la cámara, tiene incorporado el IMU.
- IMU: Indica al controlador la posición de la montura que mantiene la cámara, de esta

manera se emite la información que el controlador necesita para situar la orientación de la cámara.

- Controlador: Controla los motores del gimbal para nivelar la montura de la cámara, gracias a la información que recibe del IMU envía las señales necesarias para corregir la posición.
- Motores: Se encargan de realizar el movimiento necesario de la estructura que mantiene la cámara para corregir su posición. Realizan los movimientos que el controlador les indica.

Se puede observar que la estructura es la base donde se ubica y fija, la cámara que se quiera estabilizar (ver figura 2), además de los otros componentes que forman parte del dispositivo en cuestión, la Unidad de Medición Inercial (IMU) será la encargada de medir la posición de la estructura y por medio de acelerómetros y giróscopos suministra la información necesaria al controlador para la orientación del equipo. El controlador no es más que un circuito que cumple la función de manejar los motores que forman parte del Gimbal nivelando, estabilizando y corrigiendo la posición de la estructura en función de la información que le suministra la Unidad de Medición Inercial. Finalmente, los motores son los encargados de darle la movilidad a la estructura realizando los movimientos que son indicados por el controlador como se observa en la figura 2.



**Figura 2.** Ejemplo de funcionamiento del Gimbal.

Fuente: <https://www.xataka.com> (2017)

### 2.2.3 Steadicam

Es el nombre comercial del primer estabilizador de cámara, consistente en un sistema de suspensión y brazo recto con soporte para la cámara y sistema de contrapesos, el que se puede complementar con un brazo isoelástico adosado a un chaleco o *body* como se le conoce para aumentar el tiempo de utilización en tomas largas, ya que el peso se traslada de los brazos del operador a las caderas del mismo. El sistema permite llevar la cámara de cine o televisión atada al cuerpo del operador de cámara mediante un arnés. Compensa los movimientos del operador, mostrando imágenes similares al punto de vista subjetivo del personaje.

Esta técnica fue inventada en 1976 por Garrett Brown como un sistema para paliar los movimientos indeseados del operador y así suavizar y estabilizar las imágenes. Su primera utilización cinematográfica fue en la cinta de 1976 *Esta tierra es mi tierra* (*Bound for Glory*), de Hal Ashby; su uso fue una revolución que sorprendió a los especialistas de la materia. En el mismo año se utilizó en *Rocky* y en *Marathon Man* que iniciaron su uso generalizado.

De forma casi paralela a su invención, se publicaba el libro *El resplandor* de Stephen King. Un poco más tarde, en 1980 Kubrick lo utilizaría en su adaptación al cine. Esta película popularizó las ventajas del steadicam y se ha convertido en un sustituto del aparatoso y caro travelling. El steadicam permite buenos resultados y movimientos más complejos a un menor coste. Sin embargo, su gran desventaja es que el operador tiene que descansar cada cierto tiempo, por lo que no permite largas grabaciones.

El steadicam da nombre genérico a los estabilizadores de cámara, dado que fue la primera en comercializarse, aunque en la actualidad hay muchos tipos de estabilizadores de cámara, tales como la Glidecam, la Bodycam, etc.

**El steadicam está compuesto de tres partes diferentes:**

- Un arnés corporal
- Un brazo mecánico
- Un montante tubular dotado de un soporte para la cámara, de un cardán (Gimbal) ubicado cerca del centro de gravedad del conjunto, de un monitor y de baterías situadas en la parte inferior. El conjunto de las tres partes se denomina Rig.

El principio de base del steadicam es centrado sobre el Sled y el brazo: la cámara está fijada sobre un soporte previsto al efecto, al arriba del Post. En su base se encuentran la batería y el monitor, que, a modo de contrapeso permiten acercar el centro de gravedad del conjunto del post en el centro axial del Gimbal.

El sled viene a fijarse sobre el brazo y traspone el peso del conjunto sobre el arnés por un sistema complejo de poleas, cables de acero y de muelles (Garrett Brown se habría inspirado en una lámpara de arquitecto para concebirlo). Actualmente existen brazos con una mecánica de menor complejidad e igual o mayor eficacia basados en dos únicos muelles prescindiendo totalmente de poleas y cables, aligerando el peso. El mismo arnés está fijado alrededor de los hombros, las caderas y de la espalda del operador, para repartir equitativamente el peso sobre todo el cuerpo, pero la espalda sigue siendo la parte del cuerpo donde se concentra la mayor parte del peso.

Gracias a este procedimiento, el operador obtiene una gran movilidad de movimientos y la imagen sigue siendo estable sea cual sea la superficie donde opera. Sin embargo, el manejo del steadicam sigue siendo complejo, y sólo un operador experimentado y entrenado podrá obtener imágenes perfectamente fluidas (ver figura 3).



**Figura 3.** Uso de steadicam.

Fuente: Wikipedia (2020)

#### **2.2.4 Glidecam**

Es un tipo de estabilizador de cámara que se desarrolló a partir del steadicam tradicional con el objetivo de mejorar el peso y el precio, se recomienda para cámaras domésticas que cualquiera pueda tener en su casa. Su uso es muy sencillo y no hay que tener gran experiencia para sacarle el máximo partido a la glidecam.

La principal diferencia entre los estabilizadores Glidecam y los estabilizadores electrónicos es el modo de lograr esa estabilización. En uno lo hacen a través de sus pesas y el otro de un modo electrónico. El peso máximo está sobre los 3 kg, esto es importante para lograr una correcta estabilización.

Se coloca la cámara sobre el soporte y sujetas la glidecam con el mango, y listo. Es muy utilizada por principiantes que quieren comenzar a grabar sus propias creaciones. Escogen la glidecam por su sencillez y, al mismo tiempo, eficacia (ver figura 4).



**Figura 4.** Modelo de Glidecam.

Fuente: Guzmán (2013)

### **2.2.5 Estabilizador de mano**

Es el primer paso de la estabilización de cámaras DSLR y mirrorless. Consiste en un mango vertical con una estructura de metal sobre la que se coloca la cámara y debajo una serie de pesas que equilibran el conjunto como se muestra en la figura 5. Es una forma bastante rudimentaria de estabilizar la imagen, pero con un buen sistema y algo de práctica puede dar muy buenos resultados. Uno de los puntos más negativos es que es muy difícil calibrarlos a la perfección.



**Figura 5.** Ejemplo de estabilizador de mano.

Fuente: Professional Handheld Steadycam (2016)

### 2.2.6 Trípode

Se denomina trípode o tripié a aquel aparato de tres patas y parte superior circular o triangular, que permite estabilizar un objeto y evitar el movimiento propio de este. La palabra se deriva de *tripous*, palabra griega que significa ‘tres pies’.



**Figura 6.** Modelo de tripode.

Fuente: Magnus VT-4000 Tripod (2019)

En los trípodes de vídeo profesionales, tiene patas, más robustas, habitualmente compuestas por doble tubos porque están diseñadas para soportar el mayor peso de las cámaras de vídeo como se evidencia en la figura 6.

### 2.2.7 Actuadores

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo de el origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico”

### 2.2.8 Unidad de Medición Inercial (IMU)

Una IMU o unidad de medición inercial es una solución para aplicaciones que requieran el uso conjunto de un acelerómetro, un giroscopio y a veces, un magnetómetro. El tamaño de estos sensores es ínfimo y pueden encontrarse todos

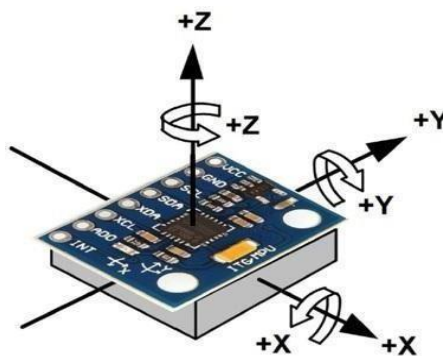
implementados en un mismo componente (Tofé Blanco, 2015).

### 2.2.9 Unidad de medición Inercial MPU6050

EL MPU6050 es una unidad de medición inercial o IMU (Inertial Measurement Units) de 6 grados de libertad (DoF) pues combina un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio de 3 ejes. Este sensor es muy utilizado en navegación, goniometría, estabilización, etc. se puede programar con arduino y controlar motores “brushless” o servomotores en la figura 8 se muestra un modelo de esta unidad. El MPU6050 de “InvenSense” empresa dedicada a la fabricación de dispositivos electrónicos es el primer circuito integrado de seis ejes de libertad que combina un giroscopio de tres ejes, un acelerómetro de tres ejes, y un Procesador Digital de movimiento (DMP) todos estos sensores en un chip ultra pequeño de (4x4x0.9) mm (Tofé Blanco, 2015).

El módulo Acelerómetro MPU tiene un giroscopio de tres ejes con el que podemos medir velocidad angular y un acelerómetro también de 3 ejes con el que medimos los componentes X, Y y Z de la aceleración estos ejes son señalados en la figura 7.

La dirección de los ejes está indicada en el módulo el cual hay que tener en cuenta para no equivocarnos en el signo de las aceleraciones.



**Figura 7.** Circuito MPU6050 (Señalización de los ejes).

Fuente: Helipal (2016)



**Figura 8.** Circuito MPU6050.

Fuente: Helipal (2016)

### **2.2.10 Acelerómetro**

Un acelerómetro, como su nombre lo indica, es un dispositivo electromecánico que nos sirve para medir las fuerzas de aceleración, ya sea estática o dinámica. Son útiles para detectar las vibraciones y el movimiento en los sistemas. Este sensor registran los valores de las aceleraciones en los tres ejes (x,y,z). Comúnmente son usados para emitir alertas en sistemas de protección en vehículos, para registrar la actividad física en las personas, para aplicaciones de orientación en los dispositivos móviles, etc. (Acelerómetro, 2016).

### **2.2.11 Giróscopo**

Según (Tofé Blanco, 2015):

“Un giroscopio es un sensor que mide velocidades angulares, y dependiendo de su disposición, puede medir velocidades sobre cualquier eje de rotación. Su funcionamiento está basado en una pequeña masa de resonancia que se desplaza al variar la velocidad angular, dicha variación es medida mediante una interfaz que capta y posteriormente, se conecta a un amplificador diferencial de carga que convierte las variaciones capacitivas en variaciones de tensión”.

### 2.2.12 Efecto giroscópico

Cuando la trayectoria de un objeto es una curva, en cada uno de sus puntos se define su velocidad lineal  $v$  como un vector tangente, en ese punto, a dicha trayectoria. Esta velocidad lineal o numérica  $v$ , es el cociente entre el arco recorrido (espacio) y el tiempo empleado. En símbolos:

$$V = \frac{AB}{t}$$

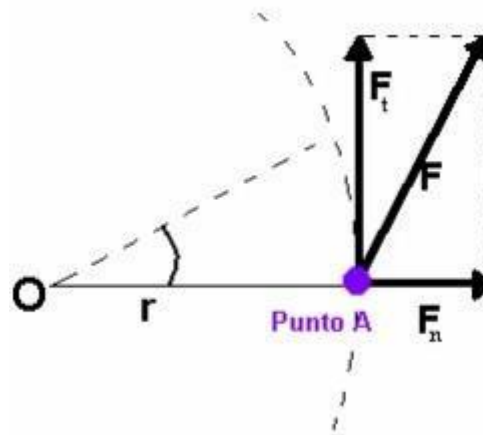
Así mismo, la velocidad angular es una medida de la velocidad de rotación y corresponde al cociente entre el ángulo descrito y el tiempo empleado en describirlo. En símbolos:

$$\dot{\omega} = \frac{\dot{\alpha}}{t}$$

El vector que se le asocia tiene como módulo el valor escalar de la velocidad angular  $\omega$  como dirección, la del eje de rotación. Por otra parte, puede probarse que en el movimiento circular uniforme el módulo de la velocidad lineal  $v$  y el de la angular  $w$  se relacionan, a través del radio  $r$  de la circunferencia, mediante la siguiente expresión:

$$v = r \cdot \omega$$

Cuando se ejerce una fuerza sobre un cuerpo rígido y se modifica su movimiento de rotación, el origen de este cambio es el momento de fuerza, también llamado momentum, torque o par. Llamamos momento de una fuerza con respecto a un punto, al producto de la fuerza aplicada por la distancia al punto considerado



**Figura 9.** Fuerza de Rotación.

Fuente: Konrad Lorenz (2009)

En el caso del sólido rígido en rotación, sea cual fuere la dirección de la fuerza ejercida, ésta puede descomponerse en dos, una  $F_n$  en la dirección del radio  $r$  y la otra  $F_t$  perpendicular al mismo. El momento de la primera respecto al punto es nulo y el de la segunda es un vector que tiene por módulo:

$$M = r \cdot Ft$$

Siendo su dirección paralela al eje y su sentido el indicado por la regla del tornillo, de Maxwell o de la mano derecha. Esta expresión del momento la podemos escribir teniendo en cuenta que  $F = m \cdot a$ :

$$M = m \cdot a \cdot r$$

Llamando a  $\alpha$  la aceleración angular. Se tiene:  $a = r \cdot \alpha$  (siendo  $a = dv$ , por lo tanto, quedaría  $a = r \cdot d\omega$ , y por lo que  $a = r \cdot \alpha$ ), queda, en definitiva:

$$M = m \cdot r^2 \cdot A$$

Cuando se genera el momento de una fuerza sobre un cuerpo, se le provoca una aceleración angular que será mayor, cuanto mayor sea el momento que se le aplique. Por otro lado, el momento de inercia es una medida de la resistencia

que opone un cuerpo a sufrir aceleraciones angulares, éste se representa con la siguiente ecuación:

$$I = \sum m \cdot r^2$$

Finalmente:

$$\frac{d(I\omega)}{dt} = 0$$
$$I\omega = cte.$$

### 2.2.13 Arduino

Basada en la filosofía del software libre, Arduino es una plataforma de electrónica “open-source” o de código abierto cuyos principios son contar con software y hardware fáciles de usar. Básicamente lo que permite esta herramienta es la generación de infinidad de tipos de microordenadores de una sola placa, que luego pueden tener una amplia variedad de usos según la necesidad de la persona que lo cree. Es decir, una forma sencilla de realizar proyectos interactivos para cualquier persona.

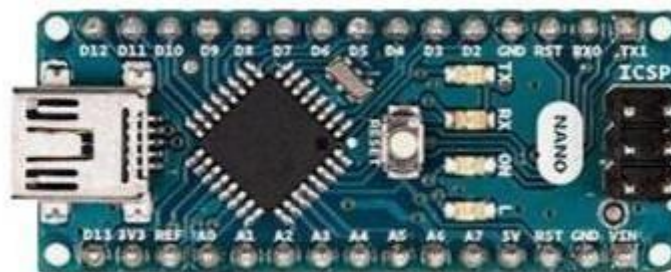
El software libre son los programas informáticos cuyo código es accesible por cualquiera para que quien quiera pueda utilizarlo y modificarlo. Arduino ofrece la plataforma ArduinoIDE (Entorno de Desarrollo Integrado), que es un entorno de programación con el que cualquiera puede crear aplicaciones para las placas Arduino, de manera que se les puede dar todo tipo de utilidades.

- **Ventajas de Arduino**

- Su bajo coste
- Su precio, aunque varía según el modelo, es más económico en comparación con

las demás plataformas de microcontroladores, pudiendo encontrar algunos modelos por debajo de los 15 €.

- Compatibilidad multiplataforma
  - Su software de programación, a diferencia de otros modelos de microcontroladores, es compatible con Windows, Mac OS y Linux.
  - Entorno de programación sencillo y de código abierto
  - Su software de programación es muy sencillo de utilizar para principiantes y su código abierto permite experimentar a los usuarios más avanzados, pudiendo embarcarse en el proyecto que deseen.
  - Hardware abierto
  - Los planos de las placas tienen licencia de uso común, lo que significa que los usuarios experimentados puedan crear sus propios módulos derivados de las placas.
- **Controlador Arduino Nano:** Es una placa de desarrollo de tamaño compacto, completa y compatible con protoboards, basada en el microcontrolador ATmega328P la cual se puede observar en la figura 10. Tiene 14 pines de entrada/salida digital, 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión Mini-USB, terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo (Arduino, 2015).



**Figura 10.** Circuito MPU6050.

Fuente: Arduino (2015)

- **Arduino Micro:** Está basado en el microcontrolador Atmel ATmega32U4. Con un oscilador de cristal de 16 MHz, el microcontrolador cuenta con una resolución de 8

bits, 32 KB de flash y 2.5 KB de RAM. En la figura 11 se puede observar el circuito, en el cual destaca su controlador USB integrado, una característica útil del ATmega32U4 que le permite ahorrar espacio, pues reduce la necesidad de microcontroladores secundarios y le permite conectarse a su computadora de la misma manera que un teclado o un mouse.



**Figura 11.** Circuito Arduino Micro.

Fuente: Arduino (2015)

- **Arduino shields:** Las shields son placas de circuitos modulares que se montan unas encima de otras para dar funcionalidad extra a un Arduino. Estas shields son apilables. Un shield en Arduino es una placa que se apila sobre el arduino o sobre otro shield, de forma que nos permite ampliar el hardware/capacidades de Arduino, un ejemplo de este se muestra en la figura 12.

Las shields se pueden comunicar con el arduino bien por algunos de los pines digitales o analógicos o bien por algún bus como el SPI, I2C o puerto serie, así como usar algunos pines como interrupción. Además, estas shields se alimentan generalmente a través del Arduino mediante los pines de 5V y GND.

En muchos casos nos encontraremos que los shields vienen sin soldar las patillas o en algunos casos sin algunos componentes soldados.

Cada Shield de Arduino debe tener el mismo factor de forma que el estándar de Arduino con un espaciado de pines concreto para que solo haya una forma posible de encajarlo.



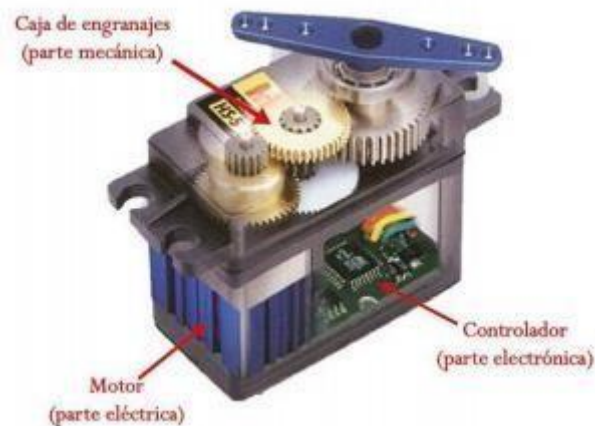
**Figura 12.** Circuito Arduino con shields  
Fuente: Arduino (2015)

#### 2.2.14 Servomotores

Un servomotor es un actuador rotativo o motor que permite un control preciso en términos de posición angular, aceleración y velocidad, capacidades que un motor normal no tiene. Utiliza un motor normal y lo combina con un sensor para la retroalimentación de posición. Los servomotores no son en realidad una clase específica de motor, sino una combinación de piezas específicas, que incluyen un motor de corriente continua o alterna, y son adecuados para su uso en un sistema de control de bucle cerrado, en la figura 13 se muestran sus componentes internos. Se utilizan básicamente en la robótica industrial, en la fabricación con sistemas de automatización y en aplicaciones de mecanizado de control numérico (CNC) por ordenador.

Los servomotores se controlan enviando un pulso eléctrico de ancho variable, o modulación de ancho de pulso (PWM), a través del cable de control. Hay un pulso mínimo, un pulso máximo y una frecuencia de repetición, por lo general, un servomotor sólo puede girar 90° en cualquier dirección para un movimiento total

de 180°. La posición neutra del motor se define como la posición en la que el servo tiene la misma cantidad de rotación potencial tanto en el sentido de las agujas del reloj como en el sentido contrario.



**Figura 13.** Componentes internos de un servomotor  
Fuente: García González (2016)

### 2.2.15 Motores sin escobillas (BLDC)

Los motores de corriente continua sin escobillas (BLDC) son uno de los tipos de motores que más popularidad ha ganado en los últimos años. Actualmente, los motores BLDC se emplean en sectores industriales tales como: Automóvil, Aeroespacial, Consumo, Médico, equipos de automatización e instrumentación, en la figura 14 se puede observar un modelo de motor sin escobillas para gimbal.

Los motores BLDC tienen la característica de que no emplean escobillas en la conmutación para la transferencia de energía; en este caso, la conmutación se realiza electrónicamente. Esta propiedad elimina el gran problema que poseen los motores eléctricos convencionales con escobillas, los cuales producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, desprenden calor, son ruidosos y requieren una sustitución periódica y, por tanto, un mayor mantenimiento.

**Principio de funcionamiento:** Los motores Brushless son motores síncronos que

tienen imanes permanentes en el rotor y bobinas en el estátor. Los terminales eléctricos van soldados directamente a las bobinas del estátor, por lo que aquí no hay ningún tipo de rozamiento mecánico con el rotor, como ocurre en los motores convencionales, al aplicar corriente continua a una bobina, ésta será convertida en un electroimán. Así, el funcionamiento de este tipo de motores se basa en la interacción entre los imanes permanentes del rotor y los electroimanes. Los motores Brushless usan típicamente un bobinado de tres fases: A, B y C. Cuando se aplica energía a la bobina A, los polos opuestos del rotor y el estátor se atraen el uno al otro. Como resultado, los polos del rotor se mueven hacia un lado u otro. Cuando el rotor se acerca a A, se aplica corriente a B y el rotor se acerca a éste. Cuando está cerca de B, se aplica corriente a C, y el rotor se mueve hacia este último. Este proceso se repite, y el rotor continúa girando.

Los motores BLDC tienen muchas ventajas frente a los motores DC con escobillas y frente a los motores de inducción. Algunas de estas ventajas son:

- Mejor relación velocidad-par motor
- Mayor respuesta dinámica
- Mayor eficiencia
- Mayor vida útil
- Menor ruido
- Mayor rango de velocidad.

Además, la relación par motor-tamaño es mucho mayor, lo que implica que se puedan emplear en aplicaciones donde se trabaje con un espacio reducido.

Por otra parte, los motores BLDC tienen dos desventajas, que son las siguientes:

1.- tienen un mayor coste

2.- requieren un control bastante más complejo



**Figura 14.** Motor sin escobillas para gimbal.

Fuente: García González (2016)

### 2.2.16 Vibraciones

Las vibraciones se definen como el movimiento oscilante que hace una partícula alrededor de un punto fijo. Lo más natural en este tipo de movimiento es que su dirección, frecuencia o intensidad sea aleatorio, pero también se puede encontrar este movimiento de forma regular.

Para medir el nivel de vibraciones que un cuerpo está generando se mide la aceleración, velocidad o desplazamiento de las ondas emitidas. La aceleración es el valor más usado para su estudio y sus unidades son metros sobre segundo cuadrado.

Existen diferentes instrumentos para registrar y analizar las vibraciones producidas por un cuerpo, en la actualidad se utiliza un vibrómetro el cual registra la frecuencia y por medio de un filtro, transforma la aceleración de las vibraciones en una señal eléctrica determinando los valores de las aceleraciones registradas. También gracias a la presencia de sensores como acelerómetros en dispositivos móviles, se puede utilizar como instrumentos de medición a “teléfonos inteligentes” que, por medio de diferentes aplicaciones móviles, se pueden obtener los valores registrados.

### **2.2.17 Sistemas CAD/CAM**

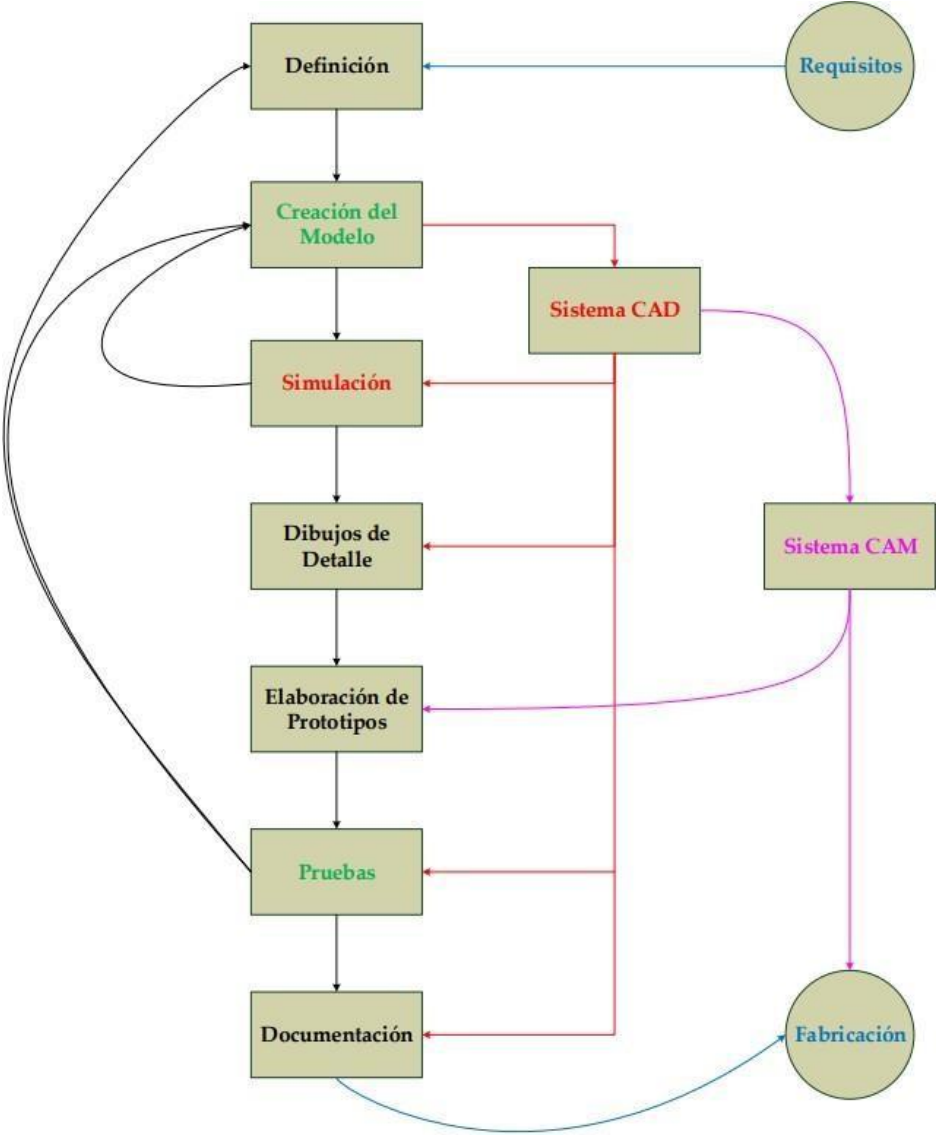
El término CAD proviene del acrónimo inglés Computer Aided Design, que se traduce como Diseño Asistido por Computador (DAC), o Diseño Asistido por Ordenador (DAO), aunque el acrónimo inglés es el más utilizado. En un sentido amplio, podemos entender el CAD como la aplicación de tecnologías de la información y de la comunicacional proceso de diseño.

Una herramienta CAD es un sistema software que aborda la automatización global del proceso de diseño de un determinado tipo de objeto o ente. Esto descarta como sistemasCAD a las aplicaciones que inciden sólo en algún aspecto muy concreto del proceso de diseño.

Los medios informáticos se pueden emplear en la mayor parte de las fases del proceso de diseño, siendo el dibujo el punto en el que más se han empleado. El éxito o fracaso de un sistema CAD radica en permitir la reducción del tiempo invertido en el ciclo de diseño y/o aumentar la calidad del resultado final. Esto se consigue fundamentalmente por el uso de sistemas gráficos interactivos, que permiten realizar las modificaciones en el modelo y observar inmediatamente los cambios producidos en el diseño.

En los sistemas CAD es esencial obtener una buena representación del modelo. Esto posibilita simplificar la generación de documentación y dibujos de detalle, pero permite, sobre todo, la utilización de métodos numéricos para realizar simulaciones, o incluso pruebas que sustituyan a la construcción de prototipos. Esto es de una importancia vital en la ingeniería porque el ciclo de diseño clásico se ve modificado (y mejorado) cuando se emplea un sistema CAD, ya que se incluye una etapa de simulación entre la fase de creación del modelo y la fase de generación de bocetos. Esta pequeña modificación supone una reducción importante en la duración del proceso de diseño, ya que permite adelantar el momento en que se detectan algunos errores de diseño, con el consiguiente ahorro económico, en la figura 15 se

puede evidenciar el proceso de diseño empleando herramientas CAD.



**Figura 15.** Proceso de diseño empleando herramientas CAD

Fuente: [www.ocw.uv.es](http://www.ocw.uv.es) (2016)

### 2.2.18 SolidWorks

Solidworks es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por

computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

SOLIDWORKS ofrece soluciones intuitivas para cada fase de diseño. Cuenta con un completo conjunto de herramientas que le ayudan a ser más eficaz y productivo en el desarrollo de sus productos en todos los pasos del proceso de diseño. La sencillez que es parte de su propuesta de valor, es decisiva para lograr el éxito de muchos clientes.

#### **2.2.19 Autodesk Inventor**

Autodesk Inventor es el programa para diseño mecánico avanzado en 3D, con modelado paramétrico, directo y libre, tiene una capacidad base para realizar diseño de piezas, sus dibujos y ensamblajes de partes. En una versión profesional, Inventor ofrece simulación por elementos finitos, sistemas de movimientos, chapa metálica, ruteo de cables, plástico, moldes y administración de datos.

Con un programa como Autodesk Inventor, los diseñadores, ingenieros y emprendedores pueden conceptualizar ideas, crear modelos 3D y documentarlos para la vida real, también es posible someter el diseño a una validación virtual variando sus parámetros, analizando su resistencia, desde la optimización su forma hasta la preparación de moldes. Este escenario se puede contemplar para una pieza o para una máquina conformada por ensamblajes de piezas. Inventor tiene un enlace con la aplicación en la nube **Fusion 360** que lee los datos de la geometría sólida y extiende la información del diseño a más personas en la nube.

#### **2.2.20 Fibra de Carbono**

La Fibra de Carbono (FC) es un material formado por fibras de 50 -10 micras de diámetro, compuesto principalmente de átomos de carbono. Los átomos de carbono están unidos entre sí en cristales que son más o menos alineados en

paralelo al eje longitudinal de la fibra. La alineación de cristal da a la fibra de alta resistencia en función del volumen (lo hace fuerte para su tamaño). Varios miles de fibras de carbono están trenzadas para formar un hilo, que puede ser utilizado por sí mismo o tejido en una tela.

Las propiedades de las fibras de carbono, tales como una alta flexibilidad, alta resistencia, bajo peso, tolerancia a altas temperaturas y baja expansión térmica, las hacen muy populares en la industria aeroespacial, ingeniería civil, aplicaciones militares, deportes de motor junto con muchos otros deportes.

La estructura atómica de la fibra de carbono es similar a la del grafito, que consiste en láminas de átomos de carbono (láminas de grafeno) dispuestos siguiendo un patrón hexagonal regular. La diferencia radica en la forma en que se vinculan las láminas. El grafito es un material cristalino en el cual las láminas se apilan paralelas entre sí de manera regular. Las fuerzas intermoleculares entre las láminas son relativamente débiles (fuerzas de Van der Waals), dando al grafito sus características blandas y quebradizas.

Dependiendo del precursor para hacer la fibra, la fibra de carbono puede ser turbostrática o grafitica, o tienen una estructura híbrida con las partes presentes tanto en grafiticas y turbostráticas. En fibra de carbono turbostráticas las láminas de átomos de carbono se apilan al azar o en forma irregular. Las fibras de carbono derivadas del poliacrilonitrilo (PAN) son turbostráticas, mientras que las fibras de carbono derivadas de labrea de mesofase son grafiticas después del tratamiento térmico a temperaturas superiores a 2.200°C. Las fibras de carbono turbostráticas tienden a tener alta resistencia a la tracción, mientras que un tratamiento térmico en la brea de mesofase derivada en fibras de carbono con un alto módulo de Young (es decir, baja elasticidad) y alta conductividad térmica.






### **2.2.21 Propiedades de la fibra de carbono**

Las propiedades principales de este material compuesto se comentan a

continuación

Propiedades físicas:

- Baja densidad (por lo cual ligereza), en comparación, con otros elementos como por ejemplo el acero. (1.750 kg/m<sup>3</sup>.)
- Es conductor eléctrico y de baja conductividad térmica.
- Punto de fusión: 3800 (g) 3823 K.
- Gran capacidad de aislamiento.
- Resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma (solo si se utiliza matrizermoestable).
- Resistencia a ambientes alcalinos y externos susceptibles de corrosión.
- Inercia química y buenas propiedades ignífugas.
- Brillo superficial (según los procesos de fabricación)
- Versátil; puede usarse para envolver formas complejas.
- De sección delgada, pueden ser fácilmente cruzadas y traslapadas
- Fácil de pintar o recubrir con otros productos para mejorar o modificar su apariencia.
- Elevado precio de producción.
- Facilidad de adaptar y modificar diseños. Propiedades mecánicas:
- Elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Alta rigidez (valores específicos del orden d 2-6 veces los del acero).
- Resistentes a fatiga.
- Buena resistencia al impacto.

|   |                         | FIBRES |         |        |        |        |                      |        |                             |        |  |
|---|-------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|----------------------|--------|-----------------------------|--------|--|
|   |                         | UNITS  | E-GLASS |        | ARAMID |        | HIGH STRENGTH CARBON |        | INTERMEDIATE MODULUS CARBON |        |  |
|   |                         |        | UD      | Fabric | UD     | Fabric | UD                   | Fabric | UD                          | Fabric |  |
| <br>Tensile            | $\sigma_t$              | MPa    | 1100    | 600    | 1100   | 500    | 2000                 | 800    | 2400                        | 900    |  |
|   | $\sigma_t$              | MPa    | 35      | 550    | 35     | 450    | 80                   | 750    | 80                          | 850    |  |
|   | $E_t$                   | GPa    | 43      | 20     | 60     | 30     | 130                  | 70     | 170                         | 90     |  |
|   | $E_t$                   | GPa    | 8       | 19     | 8      | 30     | 9                    | 65     | 9                           | 90     |  |
|   | Poisson's ratio $\nu_t$ |        | 0.28    | 0.13   | 0.34   | 0.2    | 0.25                 | 0.06   | 0.27                        | 0.05   |  |
| <br>Compression        | $\sigma_c$              | MPa    | 900     | 550    | 250    | 150    | 1300                 | 700    | 1600                        | 800    |  |
|   | $\sigma_c$              | MPa    | 150     | 500    | 150    | 150    | 250                  | 650    | 250                         | 750    |  |
|   | $E_c$                   | GPa    | 42      | 17     | 75     | 31     | 115                  | 60     | 150                         | 80     |  |
|   | $E_c$                   | GPa    | 10      | 16     | 5.5    | 30     | 10                   | 55     | 11                          | 75     |  |
| <br>Flexural           | $\sigma_f$              | MPa    | 1200    | 700    | 550    | 400    | 1800                 | 1000   | 1400                        | 1200   |  |
|   | $E_f$                   | GPa    | 42      | 20     | 40     | 25     | 120                  | 65     | 140                         | 75     |  |
| <br>In-plane shear     | $\sigma_s$              | MPa    | 60      | 55     | 45     | 40     | 95                   | 80     | 95                          | 80     |  |
|   | $G_s$                   | GPa    | 4       | 4.2    | 2.1    | 4      | 4.4                  | 5.5    | 4.4                         | 5      |  |
| <br>Interlaminar shear | $\sigma$                | MPa    | 75      | 50     | 60     | 50     | 80                   | 70     | 80                          | 70     |  |

**Figura 16.** Propiedades de algunas fibras según el entramado

Fuente: David Bueno Sáez, ciencia de los materiales (2012)

### 2.2.22 Elastómeros termoplásticos

Con el término genérico elastómero se indican sustancias naturales o sintéticas con propiedades químico-físicas típicas del caucho (o goma natural). Su característica más peculiar es la capacidad de soportar grandes deformaciones elásticas. Por ejemplo, puede estirarse hasta por lo menos el doble de su largo y luego volver a su tamaño original en fase de reposo.

Los elastómeros termoplásticos, introducidos en el mercado a finales de la década de los60, son materiales poliméricos con las características típicas tanto de los elastómeros como de los termoplásticos y, en particular, destacamos que son totalmente reciclables: a diferencia de los demás tipos de elastómeros, llamados termoendurecibles, los termoplásticos pueden fundirse y ser trabajados más de una vez.

Los elastómeros termoplásticos se pueden moldear para obtener las formas

deseadas con procesos clásicos de transformación de materias plásticas. Los métodos más comunes son el moldeo por inyección y la extrusión.

Los elastómeros termoplásticos más utilizados pertenecen a los siguientes tipos:

- Copolímero de estireno y butadieno (TPE-S)
- Poliolefina termoplástica (TPO)
- Copoliésteres (COPE)
- Copoliamidas (PEBA)
- Poliuretanos (TPU)

Los elastómeros termoplásticos vulcanizados (*tpv*) son un tipo de goma termoplástica que ha pasado por un proceso de reticulación (creación de uniones químicas entre moléculas) que brinda al material mejores propiedades físico-mecánicas, sobre todo respecto a los TPEs normales ya que presentan mayor resistencia al calor y a la fatiga y una elasticidad superior.

### **2.2.23 Aleación de Magnesio-Aluminio**

Por sí solo el aluminio es un metal relativamente blando, y, por tanto, puede ser rayado con facilidad. Sin embargo, cuando se combina con el magnesio la aleación resultante adquiere unas propiedades mecánicas excepcionalmente interesantes. Y es que este tándemnos ofrece una alta resistencia mecánica a la deformación, una dureza considerable, ligereza, la capacidad de absorber energía elásticamente y soportar impactos, y, por último, combate con eficacia la corrosión, aunque se oxida si la temperatura ambiental es muy elevada.

Juntos, el aluminio y el magnesio, el cual se muestra en distintas presentaciones en la figura 16, avalan esa frase de la escuela de la Gestalt que dice que «el todo es mayor que la suma de sus partes». Y es que la alianza de estos dos elementos no solo es mucho más atractiva que cada uno de ellos por separado, sino que nos ofrece características que son estrictamente posibles gracias a su combinación. De hecho, la aleación de aluminio y magnesio no se utiliza solo en la industria de la

electrónica, sino también en aeronáutica y en la fabricación de coches y otros vehículos, entre otras opciones.



**Figura 17** Lingotes y bobinas de láminas de magnesio con un espesor de solo 3 mm

Fuente: <https://www.xataka.com> (2017)

#### 2.2.24 Módulo de elasticidad

El módulo de Young, también llamado de elasticidad longitudinal, es un parámetro que consigue revelar el comportamiento de un material elástico en función de la tipología de fuerza que se le aplique y el consiguiente aumento o disminución de la longitud de ese material. Por lo tanto, lo que busca es obtener la relación que se da entre la tensión que se le aplica al objeto en su eje longitudinal y la deformación medida en ese mismo eje. Así, mide su comportamiento elástico y pronostica también el estiramiento de un material determinado.

$$E = \sigma / \epsilon$$

E = módulo de Young, en pascal

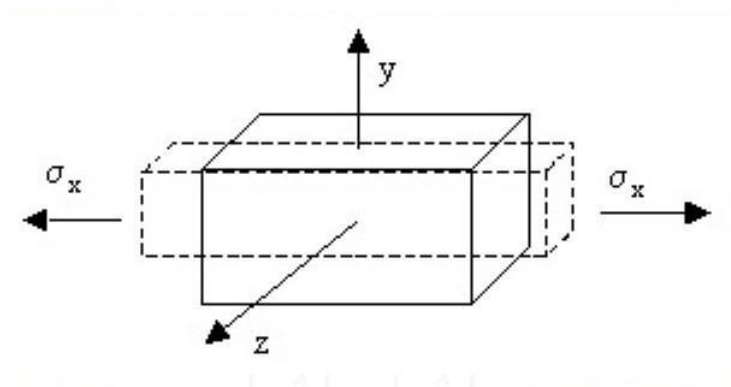
$\sigma$  = tensión uniaxial o fuerza uniaxial por superficie de la unidad, en pascal.

$\varepsilon$  = deformación o deformación proporcional (esto quiere decir el cambio de longitud dividido por la longitud original).

### 2.2.25 Coeficiente de Poisson

El coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) es un parámetro característico de cada material que indica la relación entre las deformaciones longitudinales, que sufre el material en sentido perpendicular a la fuerza aplicada y las deformaciones longitudinales en dirección de la fuerza aplicada sobre el mismo tal como se evidencia en la figura 17.

$$\nu = \left| \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} \right| = \left| \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x} \right|$$



**Figura 18** Representación gráfica de las deformaciones longitudinales

Autor: Antonio Pérez González (2018)

### 2.2.26 Densidad

La densidad es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos.

$$\rho = m/v$$

### 2.2.27 Límite elástico

El límite elástico, también denominado límite de elasticidad, es la tensión máxima que un material elástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{F}{AE}$$

Donde

$\Delta L$  = el alargamiento

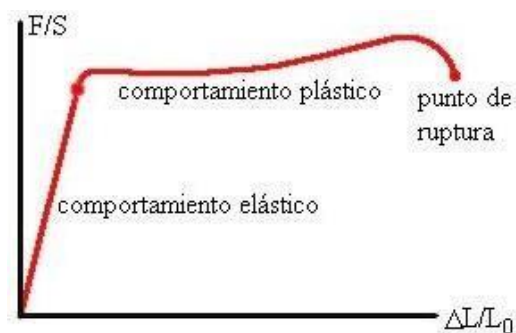
$L$  = la longitud original

$E$  = módulo de Young

$A$  = la sección transversal de la pieza estirada.

### 2.2.28 Límite de rotura

El límite de rotura (o resistencia límite de rotura) de un material se define como la máxima tensión alcanzada en la sección de una probeta normalizada de dicho material, sometida a un ensayo de tracción o un ensayo de compresión. Se representa mediante el símbolo  $S_u$ .



**Figura 19** Deformación de los materiales en función los esfuerzos aplicados

Fuente: [https://desdeelmurete.com/deformaciones-elasticas-y-plasticas-y-su-relacion-con-los-anclajes/\(2018\)](https://desdeelmurete.com/deformaciones-elasticas-y-plasticas-y-su-relacion-con-los-anclajes/(2018))

## 2.3 Definición de términos básicos

**Efecto giroscópico** es aquel que permite que un objeto que gira alrededor de su eje de simetría, se mueva en un sentido a 90° de la dirección de la fuerza aplicada

(Konrad, 2007)

**Gimbal:** es básicamente un sistema electro-mecánico cuyo objetivo principal es contrarrestar las vibraciones y/o el movimiento indeseado (Xacata, 2017)

**Sensor:** Dispositivo que detecta el cambio en el entorno y responde a alguna salida en el otro sistema. (DeweSoft 2020)

**Proceso:** es una secuencia de acciones que se llevan a cabo para lograr un fin determinado. (Economipedia, 2020).

**Mecanismo:** Conjunto de piezas o elementos que ajustados entre sí y empleando energía mecánica hacen un trabajo o cumplen una función. (definición 2001)

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

La investigación científica se enfoca en lograr conocimientos válidos y confiables sobre la realidad que rodea al ser humano, esto le proporciona gran cantidad de clasificaciones y criterios., se hace necesario asumir una estructura paradigmática para el desarrollo de la investigación, esta parte de supuestos, premisas y postulados, definidos por la comunidad científica para realizar una investigación científica en una episteme determinada.

Según Franco (2011) el marco metodológico es:

“el conjunto de acciones destinadas a describir y analizar el fondo del problema planteado, a través de procedimientos específicos que incluye las técnicas de observación y recolección de datos, determinando el “cómo” se realizará el estudio, esta tarea consiste en hacer operativa los conceptos y elementos del problema que estudiamos”. (p. 118)

El marco metodológico es de importancia fundamental para el desarrollo del plan que dará como resultado el cumplimiento de los objetivos de la investigación.

#### **3.1 Tipo de Investigación**

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es diseñar un sistema que establezca cualquier tipo de smartphone y sirva para grabación de calidad profesional, esto con un bajo costo de fabricación, posterior a la investigación se realizará un prototipo del estabilizador por lo que este trabajo de investigación se encontrará dentro **proyectos especiales** respecto a ello, UPEL (2016) define este tipo de investigaciones como:

“Trabajos que lleven a creaciones tangibles, susceptibles de ser utilizadas como soluciones a problemas demostrados, o que respondan a necesidades e intereses de tipo cultural. Se incluyen en esta categoría los trabajos de elaboración de libros de texto y de materiales de apoyo educativo, el desarrollo de software, prototipos y de productos tecnológicos en general” (p. 21)

### **3.2 Diseño de la investigación**

Arias (2012) dice lo siguiente “el diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño la investigación se clasifica en: Documental, de campo y experimental” (p. 27). Con el propósito de adentrarnos en un mercado y destacar en este, no solo por la premisa de tener precios más accesibles para el público venezolano sino en cuanto a la calidad del dispositivo, versatilidad en el diseño y que este cumpla y supere las expectativas del consumidor se hace necesario realizar a priori una investigación de campo, Arias en el 2012 define este tipo de investigación como:

“La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información, pero no altera las condiciones existentes.” (p. 31)

Sin embargo, el núcleo de la investigación se enfoca en el diseño y construcción del prototipo, por ello la mayor parte de la investigación será de carácter experimental ya que habrá interacción con gran cantidad de variables y elementos, así como la recolección de datos provenientes de investigaciones relacionadas con la estabilización de cámaras, drones, smartphones y cualquier dispositivo de vídeo, la investigación o diseño experimental es descrita por Arias (2012) como:

“La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente).” (p. 34)

### **3.3 Nivel de investigación.**

El nivel de investigación según Arias (2012) “se refiere al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno” (p.23). Sabiendo esto, el

nivel de la presente investigación es descriptiva, para poder llevar a cabo el diseño del prototipo es necesario medir variables para su posterior análisis e interpretación y en función de esto llevar a cabo

la caracterización del modelo, describiendo materiales, medidas y sistemas electrónicos a emplear. Esto de acuerdo con lo que establece Arias (2012):

“La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere” (p. 24).

### **3.4. Población y Muestra**

#### **3.4.1 Población**

Morles (1994) se refiere a la población como “La población o universo se refiere al conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan: a los elementos o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación” (p. 54). En esta investigación la población está comprendida por todos aquellos venezolanos que se dediquen a la creación de contenido audiovisual para la industria cinematográfica o para las redes sociales.

#### **3.4.2 Muestra**

La muestra es "un subconjunto representativo de un universo o población” (Morles, 1994, p. 54). En este caso, la muestra coincide con la población.

### **3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **3.5.1 Técnicas de Recolección de Datos**

“Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas o maneras de obtenerla información.” (Arias, 1999, p. 25)

##### **3.5.1.1 Observación directa**

Arias (2012) establece lo siguiente:

“La observación es una técnica que consiste en visualizar o captar mediante la vista, en forma sistemática, cualquier hecho, fenómeno o situación que se produzca en la

naturaleza o en la sociedad, en función de unos objetivos de investigación preestablecidos”. (p. 69)

### **3.5.1.2 Revisión Documental**

Rodríguez (2013) indica que:

“En particular, la investigación documental (ID) se define como una parte esencial de un proceso sistemático de investigación científica, constituyéndose en una estrategia operacional donde se observa y reflexiona sistemáticamente sobre realidades (teóricas o no) usando para ello diferentes tipos de documentos.” (p. 5)

A lo largo de la investigación será necesario acceder con frecuencia a manuales y acervos bibliográficos tanto de la parte mecánica en cuestión (motores, actuadores, sensores...) como en la parte electrónica (arduinos, chipset, baterías...) para su posterior selección y que cumplan con los requerimientos preestablecidos para el diseño del prototipo.

### **3.5.1.3 Entrevista**

**“La entrevista consiste en la recogida de información a través de un proceso de comunicación, en el transcurso del cual el entrevistado responde a cuestiones, previamente diseñadas en función de las dimensiones que se pretenden estudiar, planteadas por el entrevistador” (Buendía, Colás y Hernández, 1998, p. 127).**

La recolección de información a través de usuarios de estabilizadores y personas relacionadas directamente al mundo de la producción audiovisual en Venezuela es necesaria para conocer las necesidades a suplir con el diseño y posterior construcción del dispositivo estabilizador.

A su vez, consultar a los profesionales de Iskratronics C.A. sobre la factibilidad y los aspectos del diseño relacionados con los requerimientos de la parte electrónica del mismo.

En ambos casos realizando las respectivas entrevistas de forma sistematizada y concreta, estructurada o no estructurada dependiendo del caso, siempre sintetizando en busca del mejor aprovechamiento del tiempo y los recursos.

### **3.5.2 Instrumentos de Recolección de Datos**

Son otra de las herramientas que conforman la investigación “Los instrumentos son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información” (Arias, 1999, p. 25). En concordancia con el autor, estos son de suma importancia para la recopilación de información, engloban de manera general la aplicación de las técnicas de recolección de datos. Entre los instrumentos de recolección de datos empleados se tiene:

#### **3.5.2.1 Computadora**

Un instrumento indispensable para llevar a cabo la realización del trabajo de investigación, por medio de esta captamos, registramos y posteriormente almacenamos la información recabada.

#### **3.5.2.2 Grabadora de celular**

Empleada para los encuentros de asesoría con profesionales quienes detallan y explican información a considerar, la cual es de suma importancia para la realización del proyecto, por medio de este instrumento se conserva la información suministrada de primera y sin ningún tipo de distorsión para su posterior análisis e interpretación durante el proceso de ejecución del modelo.

#### **3.5.2.3 Guion de Entrevista**

Un instrumento esencial que permitirá dar un enfoque unificado y concreto a cada uno de los puntos a desarrollar a través de ella. De esta forma, se realizará de manera previa un guion personalizado para el objetivo de la entrevista y las personas entrevistadas.

#### **3.5.2.4 Registro Fotográfico**

Este se llevará a cabo por medio de los teléfonos inteligentes a disposición en los que se capturará cada una de las etapas en el proceso de diseño, evaluación, selección de materiales, componentes electrónicos y finalmente su fabricación.

### **3.6 Fases de la investigación**

#### **Fase I: Establecer los parámetros que debe cumplir el estabilizador de tres ejes**

En esta fase se llevará a cabo una revisión documental de los trabajos previamente realizados que guarden relación con el proyecto de investigación, además de identificar los distintos tipos de modelos existentes, así como también las formas de sujeción que pudieran llegar a ser útiles de manera análoga para la creación del diseño en cuestión. Se conocerán las distintas características relevantes a considerar en el desarrollo del modelo por medio de entrevistas a profesionales en el área y usuarios de dispositivos similares o relacionados con el área audiovisual y la creación de contenido.

#### **Fase II: Diseñar un modelo que cumpla con los parámetros y exigencias requeridas por el usuario**

En concordancia con lo investigado previamente y los datos característicos obtenidos se procederá al diseño de la estructura del prototipo tomando en consideración todos los aspectos indispensables a satisfacer, así como los esfuerzos y fenómenos físicos que actúan durante la operación del estabilizador.

Posteriormente se debe seleccionar el o los materiales para la construcción del dispositivo tomando en consideración los valores de las características mecánicas previamente calculadas, así como la evaluación de los costos del material.

Teniendo esto en cuenta se seleccionarán los componentes electrónicos según las capacidades que se requieran, todo esto bajo una evaluación de costos en el mercado dando prioridad a aquellos que ofrezcan la mejor relación calidad-precio.

#### **Fase III: Analizar la posibilidad de incorporar un dispositivo de movilidad**

Evaluar la posibilidad física y mecánica de evaluar si es o no factible

agregar al dispositivo un accesorio que le aporte movilidad al sistema para ampliar su campo de aplicación, en caso de ser factible se realizará el diseño del mismo

#### **Fase IV: Evaluar su factibilidad en cuanto a diseño y costo en Venezuela**

Realizar un análisis de costos para la elaboración del prototipo y posterior fabricación en masa del dispositivo para producción en ISKRATRONICS. Y así evaluar la rentabilidad del dispositivo en comparación con los ya existentes en el mercado.

#### **Fase V: Desarrollar el prototipo del estabilizador de tres ejes**

Se realizará el modelo y posterior simulación del dispositivo en el software para modelado mecánico SolidWorks en donde se detallarán las distintas vistas de modelo de manera previa a su fabricación y por medio de una simulación comprobaremos que es capaz de soportar las condiciones a las que se verá sometido durante su aplicación.

Se llevará a cabo la fabricación del prototipo en las instalaciones de ISKRATRONICS a través del uso de impresoras 3D y la asesoría necesaria para el correcto ensamblaje y programación de los elementos electrónicos, así como las pruebas necesarias para comprobar su correcto funcionamiento.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS**

El presente capítulo tiene como objetivo el desarrollo de las fases metodológicas en función de los datos obtenidos a través del avance e interpretación de las técnicas de recolección de datos aplicadas que corresponden a la observación directa, revisión documental y la entrevista, con la finalidad de diseñar un dispositivo estabilizador de tres ejes que cumpla las exigencias del usuario y las mejoras solicitadas en comparación con los dispositivos en el mercado a bajo costo para una producción nacional en ISKRATRONICS C.A. empresa dedicada al diseño y fabricación de dispositivos electromecánicos destinados a la creación de contenido audiovisual enfocado hacia el cine, y realizar la posterior fabricación de un prototipo realizado con impresión 3D.

#### **4.1 Establecer los parámetros que debe cumplir el estabilizador de tres ejes.**

En esta fase se llevó a cabo una revisión documental de los trabajos previamente realizados que guardan relación con el proyecto de investigación, además se identificaron los modelos existentes, así como también las formas de sujeción que pudieran llegar a ser útiles de manera análoga para la creación del diseño en cuestión. Se obtuvieron las distintas características relevantes a considerar en el desarrollo del modelo por medio de entrevistas a profesionales en el área y usuarios de dispositivos similares o relacionados con el área audiovisual y la creación de contenido.

##### **4.1.1 Identificación de las necesidades del usuario**

A través de la entrevista como técnica de recolección de datos se realizaron una serie de encuestas a través de un formulario de Google y entrevistas de manera presencial a un total de seis personas fuertemente relacionadas con el mundo audiovisual, desde directores de cine y camarógrafos hasta creadores pequeños de contenido (youtubers, tiktokers, instagramers, etc.) que poseen o han tenido contacto

con estabilizadores tanto de smartphones como cámaras profesionales, el total de las entrevistas realizadas se encuentra en los anexos de este trabajo de investigación, en este caso se decidió resaltar como ejemplo la entrevista realizada a Edsel Serralta, director de cine venezolano que quedó entre los 50 mejores cortos del Festival de Cannes en Francia, donde solo podía mostrar un cortometraje grabado con un smartphone, además es creador de contenido audiovisual para redes sociales, el posee un Gimbal DJI OSMO 2 y los resultados de su entrevista se encuentran en la tabla 1

**Tabla 1:** Resultados entrevista a Edsel Serralta

| Pregunta  | Respuesta  |
|---|--|
| <b>¿Cuáles son los usos más comunes que en su trabajo le da al dispositivo?</b>                         | Vídeo clips o videos corporativo                                   |
| <b>¿Qué es lo que más le gusta de su dispositivo?</b>   | La estabilidad a las tomas   |
| <b>¿Qué aspecto/s le gustaría mejorar de su dispositivo?</b>  | Poder guardarlo con comodidad, mayor estabilidad, mango más cómodo |
| <b>¿Durante su uso ha notado alguna falla en su funcionamiento?</b>                                     | no   |
| <b>¿Qué nivel de confiabilidad le genera fijar sus dispositivos de grabación en estos instrumentos?</b> | 9/10   |

Continuación **Tabla 1:** Resultados entrevista a Edsel Serralta

|   |  |
|---|--|
| <p><b>¿Le resulta fácil guardarlo y transportarlo a los distintos lugares de grabación?</b></p>                               | <p><b>No, ya que el dispositivo requiere ser transportado en un estuche que resulta bastante grande y engorroso.</b></p> |
| <p><b>¿El peso que tiene le parece adecuado?</b></p>  | <p>Bastante bien</p>   |
| <p><b>¿Le genera cansancio el uso del dispositivo después de largos periodos de grabación?</b></p>                            | <p>si</p>  |
| <p><b>¿Los resultados de las grabaciones realizadas con su dispositivo actual son las esperadas?</b></p>                      | <p>si</p>  |
| <p><b>¿Durante el uso cotidiano la autonomía de la batería es adecuada?</b></p>   | <p>Si, Pero podría ser mejor</p>   |
| <p><b>¿Qué tan cómodo es el agarre durante su uso?</b></p>  | <p>6/10</p>  |
| <p><b>¿Después de largos periodos de uso la adherencia de su mano con el mango del dispositivo sigue siendo correcta?</b></p> | <p>No</p>  |

Continuación **Tabla 1:** Resultados entrevista a Edsel Serralta

|   |                  |
|---|------------------|
| <b>¿Qué tan bien se adapta tu dispositivo a los cambios de orientación durante los periodos de grabación?</b> | <b>Muy bien.</b> |
|---|------------------|

Fuente: Google forms (2021)

Luego de analizar todos los datos recolectados en las entrevistas y encuestas se concluyó que los aspectos a mejorar en los estabilizadores que se encuentran actualmente en el mercado son:



- **El mango de los estabilizadores:** Al 60% de los entrevistados les resulta luego de un cierto tiempo engorroso el agarre de los estabilizadores ya que resulta incómodo y la forma hace que con el sudor se vuelva resbaloso dificultando así la grabación y sobre todo la comodidad del usuario.
- **El transporte del dispositivo:** Los estabilizadores para smartphones están diseñados para vlogeros y creadores de contenido audiovisual, por lo que estos deben transportarlos consigo a todos lados para realizar sus grabaciones, en la mayoría de los modelos que están disponibles actualmente en Venezuela este transporte resulta engorroso ya que en promedio uno de estos dispositivos mide entre 60 y 90 cm de alto por lo que se hace difícil transportarlos en carteras pequeñas o bolsillos y traen consigo un estuche que resulta muy grande e incluso pesado.
- **Precio:** La mayoría de los entrevistados resaltó lo costoso que les resultó adquirir sus estabilizadores, incluso acotando que en muchos casos era más costoso que el mismo celular que usaban para grabar.

#### **4.1.2 Estudio de las características más resaltantes de los estabilizadores de smartphone que se encuentran actualmente en el mercado venezolano.**

**Tabla 2:** Comparación de los gimbal para smartphone existentes en el mercado

| Nombre                                 | Características   | Precio             | Figura   |
|--|---|--------------------|--|
| <p>DJI OSMO MOBILE 4</p>               | <p>Cuenta con unas dimensiones de 276x120x103 mm, tiene un peso de 390 gr, soporta un peso de hasta 290 gr, un espesor máximo de 10 mm y un ancho de 67 mm a 84 mm. Cuenta con una batería con una capacidad de 2450 mAh.</p> | <p>250 dólares</p> |  <p>Fuente:<br/><a href="https://www.amazon.com/">https://www.amazon.com/</a></p>             |
| <p>ESTABILIZADOR S5B 3-AXIS GIMBAL</p> | <p>Dimensiones 328x123x105mm, peso de 500 gr, soporta un peso de hasta 250 gr y un ancho 65 a 82mm. Cuenta con una batería de iones de litio con capacidad de 4000mAh</p>   | <p>230 dólares</p> |  <p>Fuente:<br/><a href="https://www.mercadolibre.com">https://www.mercadolibre.com</a></p> |

Continuación de la **Tabla 2:** Comparación de los gimbal para smartphone existentes en el mercado

|                                |   |                       |  |
|--------------------------------|---|-----------------------|--|
| <p>MOZA MINI MX,<br/>MSG02</p> | <p>Dimensiones 265 x 120 x 120 mm, peso de 412 gr, soporta un peso de hasta 280 gr y un ancho 60 a 88 mm. La batería de tiene una capacidad de 2000mAh.</p> | <p>187,72 dólares</p> |  <p>Fuente:<br/><a href="https://www.designinfo.in/">https://www.designinfo.in/</a></p>   |
| <p>MOZA AIR 2</p>              | <p>Cuenta con unas dimensiones de 230 x 240 x 470 mm, un peso de 1,6 kg y soporta hasta 4 kg.</p>   | <p>796,03 dólares</p> |  <p>Fuente:<br/><a href="https://www.designinfo.in/">https://www.designinfo.in/</a></p> |

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

El rango de peso promedio de los estabilizadores de tres ejes para smartphone va desde los 390 gr hasta los 500 gr, mientras que el peso soportado oscila entre 240 y 290 gr, por otra parte, las baterías van desde 2.000 hasta 4.000 mAh este último valor influye de manera directa en el peso del dispositivo.

Estos valores se presentaron como punto de partida para el diseño ya que se deben igualar o mejorar para que el dispositivo sea competente en el mercado, el peso del dispositivo se debe disminuir para que el usuario tenga una mayor comodidad a la hora de utilizarlo, lo que le permitirá su uso por periodos de tiempo más extensos sin generar cansancio. En cuanto al peso soportado se tiene un rango aceptable en comparación a los pesos de los teléfonos de gama alta que se pueden encontrar al día de hoy en el mercado y finalmente la batería que definirá de manera directa la autonomía que puede llegar a tener el dispositivo, la correcta selección de la capacidad de la misma será clave, para que, en función del consumo, nos indique las horas de uso que soporta con una carga completa.

#### **4.1.3 Estudio de las formas de sujeción de smartphone que se encuentran actualmente en el mercado venezolano.**

Según la forma de sujeción del smartphone se pueden clasificar en:

- Magnéticos: es el modo más utilizado de fijar el teléfono sobre el soporte. Un imán está integrado en el soporte y el otro viene en el paquete y se fija con algún pegamento al smartphone o al estuche. Los imanes se atraen mutuamente y aseguran el teléfono sobre el soporte.



**Figura 20** sujeción magnética

Fuente: <https://www.amazon.com> (2019)

- **Mecánico:** considerado como el modo más seguro de fijar el smartphone. En este caso el teléfono se aprieta contra la parte inferior del soporte y dos fijadores laterales lo sujetan por los costados. Cuesta trabajo acostumbrarse a sacarlo, ya que toca aplicar algo de fuerza. Aunque también existen modelos que tienen un botón especial que desactiva los fijadores.



**Figura 21** Sujeción Mecánica

Fuente: <https://www.tramontina.com.br/es/> (2018)

- Fijador electromecánico automático: este tipo de soporte tiene un sensor de movimiento integrado. Fijaciones del soporte se abren automáticamente cuando usted acerca la mano con teléfono y se cierran después de colocar el teléfono. Con frecuencia los soportes con fijador automático poseen un cargador inalámbrico integrado. Cabe notar que este tipo de soportes requiere alimentación eléctrica y, por lo tanto, ellos todo el tiempo deben permanecer conectados al encendedor.



**Figura 22** Fijador electromecánico automático

Fuente: <https://all-spares.com/es/> (2020)

La forma de sujeción que reúne los aspectos más importantes y brindará al dispositivo un agarre más seguro es la unión de los 2 primeros, es decir una sujeción electromecánica rediseñada para que sea ergonómica y cómoda de utilizar.

#### **4.2 Diseñar un modelo que cumpla con los parámetros y exigencias requeridas por el usuario.**

En concordancia con lo investigado previamente y los datos característicos obtenidos se procedió al diseñar la estructura del prototipo tomando en consideración todos los aspectos indispensables a satisfacer, así como los esfuerzos y fenómenos físicos que actúan durante la operación del estabilizador.

Posteriormente se seleccionaron los materiales para la construcción del

dispositivo tomando en consideración los valores de las características mecánicas previamente calculadas, así como la evaluación de los costos del material.

Teniendo esto en cuenta se seleccionaron los componentes electrónicos según las capacidades requeridas por el sistema, para que posteriormente ISKRATRONICS C.A. desarrolle las placas electrónicas que reducirán de forma gigante los costos de producción, todo esto bajo una evaluación de costos en el mercado dando prioridad a aquellos que ofrezcan la mejor relación calidad-precio.

#### **4.2.1 Analogía utilizada para el diseño del estabilizador**

Se utilizó como punto de partida tanto para el diseño como para el funcionamiento del estabilizador la mecánica de los robots colaborativos, que en la industria son también conocidos como “*cobots*”.

Específicamente el robot que sirvió para el diseño análogo del estabilizador fue el **UR3**.

**Universal robots UR3:** Universal Robots, es un fabricante de robots colaborativos o “*cobots*” ubicados en Dinamarca, tienen entre su amplia gama de robots el UR3, un brazo robótico industrial pequeño y ligero del mercado que fue diseñado para trabajar con el operario para diferentes aplicaciones como el ensamble o la producción, este tipo de robot le permite al operario trabajar codo a codo con él para realizar las aplicaciones mencionadas anteriormente. La imagen 23 muestra el UR3.



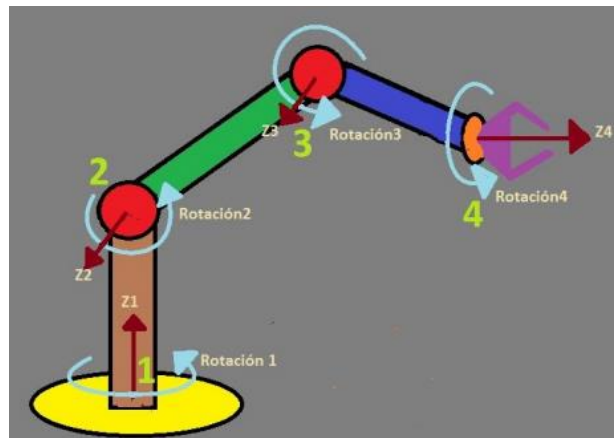
**Figura 23** Robot UR3

Fuente: <https://cadecobots.com/>

Los robots colaborativos son pequeños, ligeros, fáciles de usar y poseen ventajas en diferentes campos como, por ejemplo, en recursos financieros, humanos y técnicos.

Son fáciles de programar sin necesidad de tener grandes conceptos en robótica, el usuario generalmente puede programarlo a las necesidades o al tipo de aplicación en la cual quiere que el robot trabaje.

Estos robots trabajan en general con 4 servomotores, los cuales están distribuidos de forma que puedan movilizar los eslabones los cuales accionan la rotación en cada uno de los ejes correspondientes.



**Figura 24** Modelo de un brazo robótico con cuatro grados de libertad

Fuente: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000.pdf>

Una característica de suma importancia para el diseño del estabilizador fue tomar en consideración que los “cobots” no son robots diseñados para sostener masas externas por largos periodos de tiempo ni mucho menos mantenerlas estables aun estando en movimiento por lo que una de las condiciones iniciales para el dimensionamiento del diseño fue garantizar que la posición del smartphone coincida con el centro de masa de la base del estabilizador para asegurar el equilibrio físico y lograr con la ayuda de los dispositivos electrónicos la estabilización en la toma en los diferentes cambios de posición de forma rápida y sencilla.

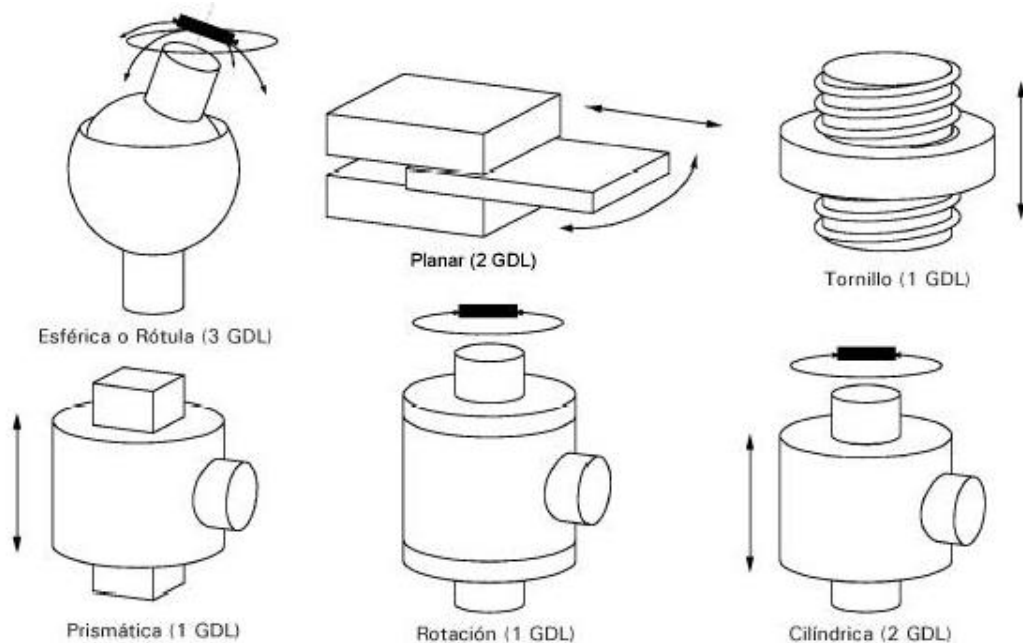
En el caso del estabilizador como es necesario que su diseño sea acorde a las

dimensiones de un smartphone tanto en posición vertical como horizontal se llegó a la conclusión de que era necesario agregar otro eslabón que de amplitud para poder colocar el dispositivo móvil de modo que al posicionarlo de manera horizontal no roce ni tenga ningún contacto con el estabilizador que pueda frustrar o dificultar el movimiento y así mantener un movimiento limpio una estabilidad en la toma óptima y evitar daños por rozamiento tanto en el estabilizador como en el smartphone.

Como se mencionó anteriormente una de las características más atrayente de los “cobots” es que son dispositivos muy versátiles y fáciles de programar.

#### 4.2.1.1 Diseño básico inicial y posicionamiento de los ejes

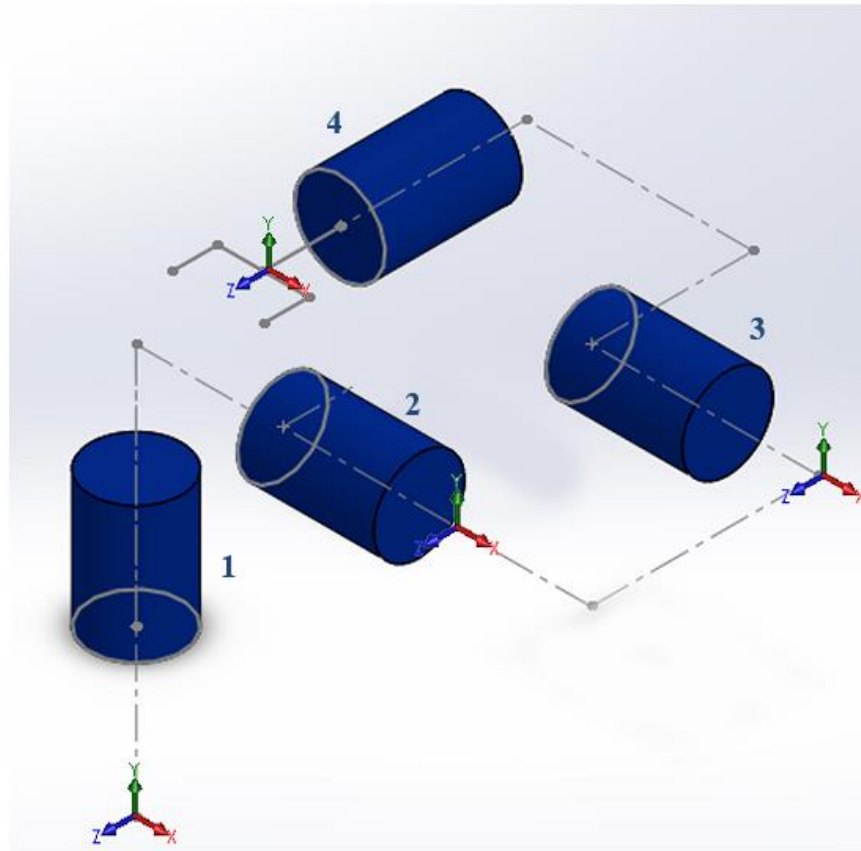
Un robot en términos generales está compuesto por una serie de elementos y un grado de libertad entre cada elemento. En cada articulación se genera un movimiento, existen 2 tipos de movimiento como desplazamiento y giro. En la figura 25 se muestran los tipos de articulaciones y sus grados de libertad.



**Figura 25** Tipos de articulaciones y sus grados de libertad

Fuente: <http://www.pagines.fib.upc.es>

Para el caso de estudio se seleccionó una articulación de rotación pura con 1 grado de libertad, la configuración cinemática básica del sistema en referencia se muestra en la figura 26.



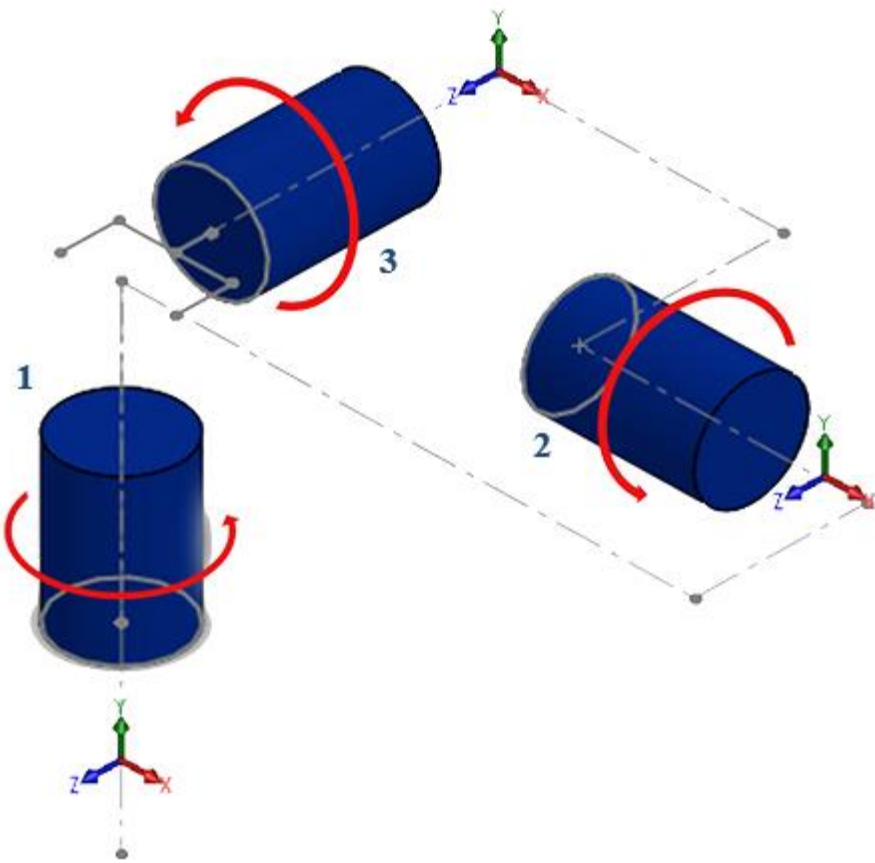
**Figura 26** Configuración cinemática básica del estabilizador

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

La configuración resulta satisfactoria excepto por la articulación dos, la cual gira alrededor del eje x y le daría al sistema un grado de libertad adicional y una complicación tanto al momento de programar los actuadores como un valor extra al costo del estabilizador.

En concordancia con las necesidades a satisfacer, se configura nuevamente y se elimina esta articulación lo que supone un ahorro en el coste final ya que se estaría

eliminando un actuador lo que supone uno de los equipos más costosos del sistema en general, la configuración cinemática quedaría como se muestra en la figura 27, donde el smartphone que supone la masa externa que debe mantenerse estable estaría situada sobre el actuador principal (1) para garantizar el equilibrio del sistema, asimismo se muestra la orientación en cuanto al giro en cada articulación definiendo los 3 ejes de estudio.



**Figura 27** Configuración cinemática básica del estabilizador (corregida)

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

#### 4.2.2 Dimensionamiento de los brazos o eslabones del estabilizador.

Como punto de partida para el dimensionamiento del dispositivo se realizó un análisis comparativo entre los smartphones de gama media/alta más utilizados en Venezuela en los últimos 4 años, es decir desde el año 2018 hasta el 2021 y así obtener un promedio de los valores de interés para el diseño (peso del dispositivo y dimensiones), en el caso del estudio se escogieron las compañías que más expenden en el país, como lo son Xiaomi, Samsung y Apple además de recolectar los datos de los smartphones más vendidos y con mejor equipo de grabación como se puede observar en la tabla 3.

**Tabla 3:** Características de los smartphones disponibles en el mercado venezolano

| Marca   | Modelo                | Año  | Peso   | Dimensiones<br>Alto x Ancho x Grosor |
|---|-----------------------|------|--------|--------------------------------------|
| Samsung<br>Fuente:<br><a href="https://www.samsung.com">https://www.samsung.com</a> | Galaxy S9 Plus        | 2018 | 189 gr | 158,1 x 73,8 x 8,5 mm                |
|   | Galaxy S10<br>Plus    | 2019 | 175 gr | 157.6 x 74.1 x 7.8mm                 |
|   | GalaxyS20<br>Ultra    | 2020 | 220 gr | 166,9 x 76 x 8,8 mm                  |
|   | Galaxy S21<br>Ultra   | 2021 | 228 gr | 165,1 x 75,6 x 8,9 mm                |
| Xiaomi<br>Fuente:<br><a href="https://www.mi.com">https://www.mi.com</a>            | Xiaomi Mi Mix<br>2s   | 2018 | 189 gr | 151 x 75 x 8.1mm                     |
|   | Xiaomi Mi Mix 3<br>5g | 2019 | 218 gr | 158 x 75 x 9.4mm                     |
|   | Mi Note 10            | 2020 | 208 gr | 157.8 x 74.2 x 9.7 mm                |
|   | Mi 11 Ultra           | 2021 | 234 gr | 164,3 x 74,6 x 8,38 mm               |

Continuación **Tabla 3:** Características de los smartphones disponibles en el mercado venezolano

|  |                           |      |                  |   |
|--|---------------------------|------|------------------|---|
| <p>Apple<br/>Fuente:<br/><a href="https://www.apple.com">https://www.apple.com</a></p> | iPhone X /<br>XS Max      | 2018 | 174 gr<br>208 gr | 143,6 x 70,9 x 7,7 mm<br>157,5 x 77,4 x 7,7 mm  |
|  | iPhone 11 /<br>11 Pro Max | 2019 | 194 gr<br>226 gr | 150,9x 75,7 x 8,3 mm<br>158 x 77,8 x 8,1 mm     |
|  | iPhone 12 /<br>12 Pro Max | 2020 | 164 gr<br>228 gr | 146,7x 71,5 x 7,4 mm /<br>160,8 x 78,1 x 7,4 mm |
|  | iPhone 13 /<br>13 Pro Max | 2021 | 173 gr<br>238 gr | 146,7 x 71,5 x 7,6 mm<br>160,8 x 78,1 x 7,6 mm  |

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

El promedio obtenido de los valores de interés para el dimensionamiento del estabilizador de 4 ejes es mostrado en la tabla 3.

**Tabla 4:** Promedio de dimensiones físicas de smartphones en el mercado

| Promedio  |           |            |             |
|-----------|-----------|------------|-------------|
| Peso (gr) | Alto (mm) | Ancho (mm) | Grosor (mm) |
| 204,125   | 156,4875  | 74,95625   | 7,74875     |
| 205       | 160       | 75         | 8           |

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

Con el objetivo de ejemplificar mejor el dimensionamiento de los brazos y verificar que las longitudes calculadas satisfacen las necesidades del estabilizador se

redimensionó un smartphone de Apple en el software de diseño CAD SolidWorks (ver Figura28) con las medidas obtenidas anteriormente en el estudio (ver tabla 2).

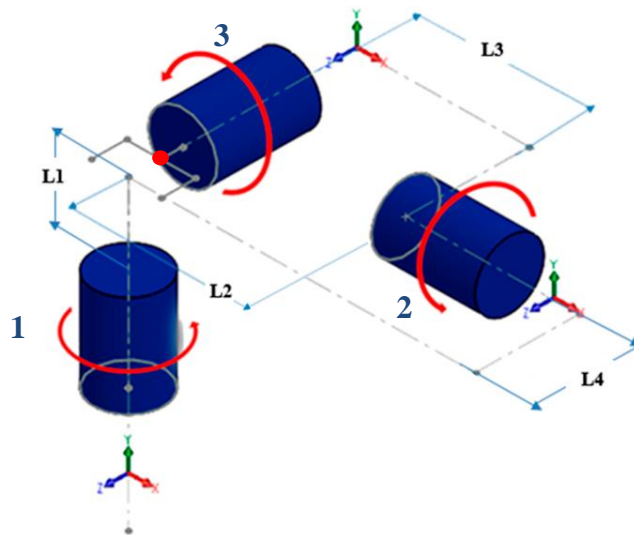


**Figura 28** Smartphone redimensionado en SolidWorks

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

El factor determinante para el dimensionamiento de los brazos fue la posición del smartphone tanto horizontal como vertical ya que fue una de las necesidades a satisfacer en los usuarios de otros dispositivos que se encuentran actualmente en el mercado.

Primero se establecieron las longitudes principales a ser evaluadas en cuanto a sus dimensiones, estas se identificaron como L1, L2, L3 y L4 como se puede observar en la figura 29

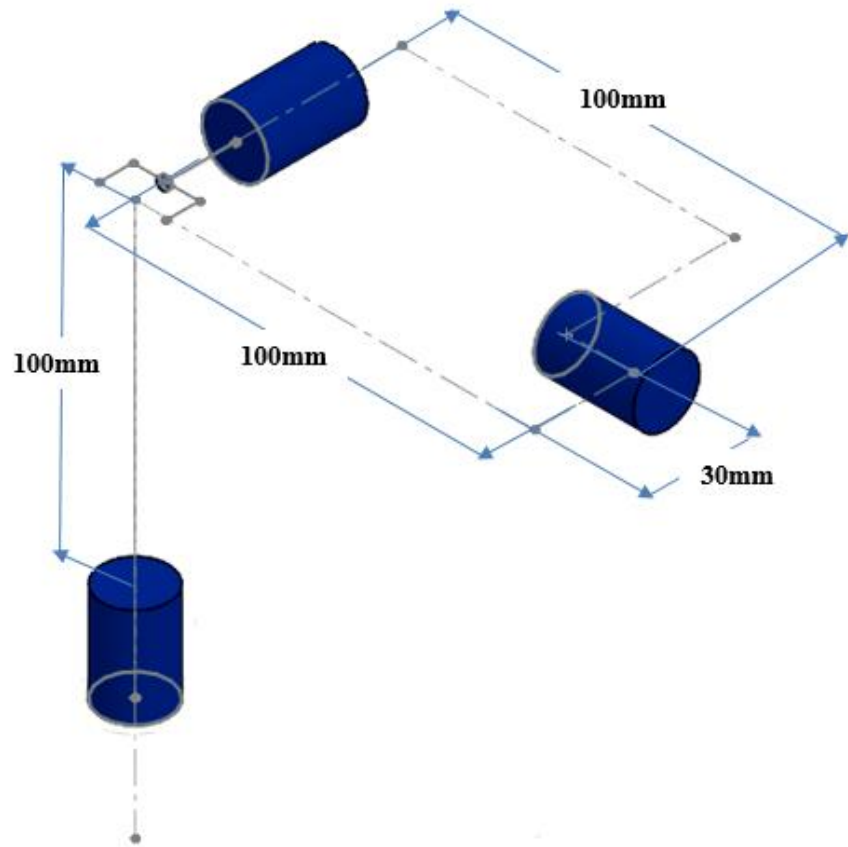


**Figura 29** Configuración cinemática básica con las longitudes a dimensionar

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

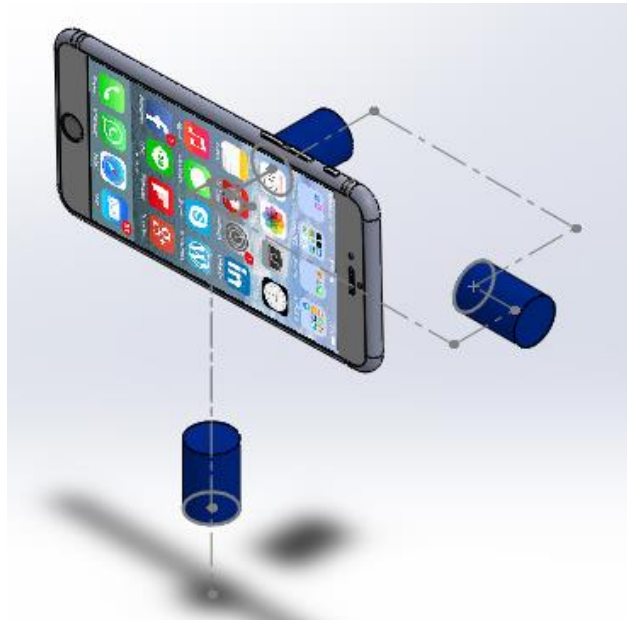
El smartphone se debe sujetar al sistema en el centro perpendicular a la articulación 3, lo cual nos dejó como dato que en una orientación horizontal la distancia L2 debe ser mayor a la mitad de la longitud en esa posición del smartphone, los 160mm que son la medida del largo, entre dos, es decir más de 80mm, se dará una holgura de 20mm y se establece una longitud para L2 que coincide con L3 de 100mm.

Para L1 se utilizó exactamente el mismo principio que para L2 y L3 ya que al estar en vertical (ver Figura31) exista la misma holgura. Por lo tanto, L3 será igual a 100mm



**Figura 30** Configuración cinemática con las longitudes dimensionadas

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)



**Figura 31** Configuración cinemática con smartphone horizontal

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)



**Figura 32** Configuración cinemática con smartphone vertical

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

Ambas orientaciones del smartphone satisfacen los 2 primeros criterios por lo que las dimensiones calculadas son correctas para el diseño del estabilizador.

#### **4.2.3 Cálculo y selección de actuadores**

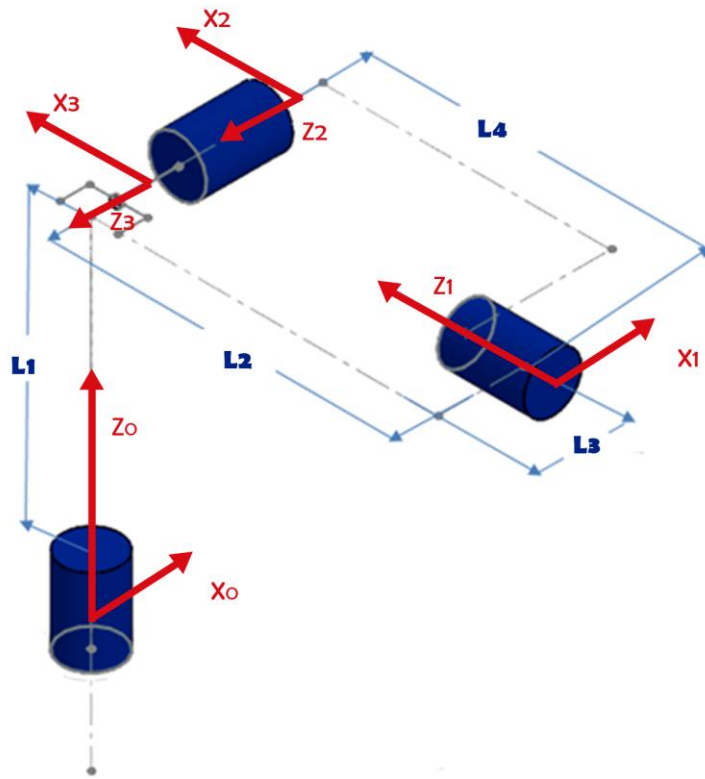
A fin de que el dispositivo cumpla con las exigencias de movimiento previamente establecidas y diseñadas se necesitaron tres actuadores, uno para cada articulación, donde los correspondiente al giro uno y giro dos (ver figura 27) debían de ser capaces de proporcionar un gran par o torque, pues son los que movilizan el resto del sistema.

Además, la selección de los actuadores estuvo determinada por el tamaño y peso de los mismos ya que gracias al estudio de mercado, el estabilizador debe mantenerse dentro de un rango de peso para ser competitivo, es decir entre 200 y 300g.

El cálculo del par motor o torque fue el punto de partida para la selección de los actuadores.

#### **Obtención del modelo cinemático directo**

Se realizó la modelación cinemática que dio pie al cálculo de las matrices homogéneas que sirvieron para describir los movimientos que puede realizar el sistema, y serán la base para delimitar el desarrollo del código de programación para el funcionamiento del estabilizador. En la figura 33 están identificados los ejes que darán pie a la realización de las matrices de paso homogéneas



**Figura 33** Configuración cinemática con identificación de los ejes

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

**Tabla 5** Tabla de parámetros de Denavit Hartenberg

| Actuadores | $\theta$ | d     | a     | $\alpha$ | q          |
|------------|----------|-------|-------|----------|------------|
| 1          | $q_1$    | $L_1$ | $L_3$ | $\pi/2$  | $\theta_1$ |
| 2          | $q_2$    | 0     | $L_2$ | $\pi/2$  | $\theta_2$ |
| 3          | $q_3$    | 0     | 0     | 0        | $\theta_3$ |

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

### Matrices de paso homogéneas

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta & -C\alpha S\theta & S\alpha S\theta & aC\theta \\ S\theta & C\alpha C\theta & -S\alpha C\theta & aS\theta \\ 0 & S\alpha & C\alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_1^0 = \begin{bmatrix} \cos 1 & -\cos\left(\frac{\pi}{2}\right)\sin 1 & \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)\sin & L3\cos 1 \\ \sin 1 & \cos\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos 1 & -\sin\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos & L3\sin 1 \\ 0 & \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) & \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) & L1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_2^1 = \begin{bmatrix} \cos 2 & -\cos\left(\frac{\pi}{2}\right)\sin 2 & \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)\sin & L2\cos 2 \\ \sin 2 & \cos\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos 2 & -\sin\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos & L2\sin 2 \\ 0 & \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) & \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_3^2 = \begin{bmatrix} \cos 3 & 0 & 0 & 0 \\ \sin 3 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### Matriz del robot:

$$T = A_1^0 * A_2^1 * A_3^2$$

$$T = \begin{bmatrix} \cos 1 \cos 2 \cos 3 - \cos\left(\frac{\pi}{2}\right)\sin 1 \sin 2 \cos 3 & -\cos 1 \cos\left(\frac{\pi}{2}\right)\sin^2 2 - \cos^2\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos 1 \cos 2 \sin 2 + \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\right)L3 \sin 2 & 0 & 0 \\ 0 & -\sin 1 \cos\left(\frac{\pi}{2}\right)\sin 2 + \cos^2\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos 1 \cos 2 - \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos\left(\frac{\pi}{2}\right)L3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\sin^2\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos\left(\frac{\pi}{2}\right) + \cos^2\left(\frac{\pi}{2}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

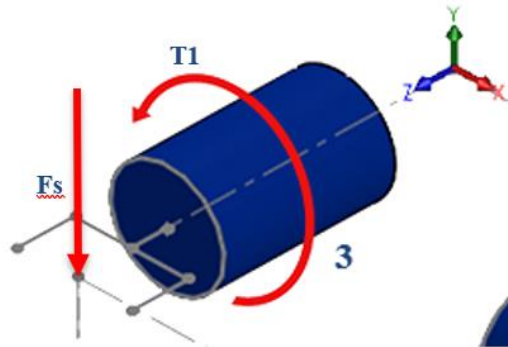
La traducción de esta matriz se interpreta de la siguiente forma:

$$T = \begin{bmatrix} nx & sx & ax & px \\ ny & sy & ay & py \\ nz & sz & az & pz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Y da pie a la creación de la ruta programable de movimiento del estabilizador.

### **Cálculo de torque en las tres articulaciones.**

Para el cálculo de torque en la articulación tres (ver Figura 34) se toma en consideración la fuerza ejercida por el peso del smartphone y el brazo estimado de 30mm.



**Figura 34** Fuerzas que actúan sobre la articulación 3

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

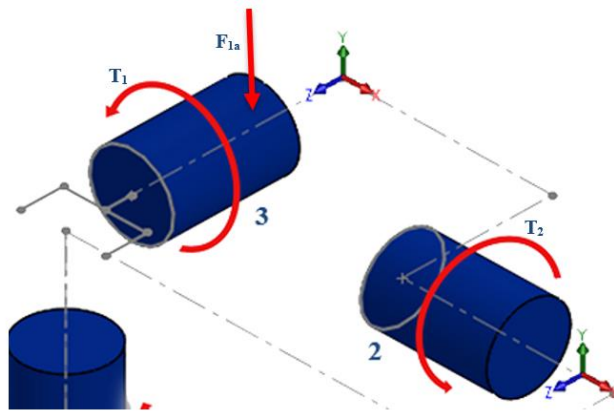
$$T_1 = F_s \cdot d$$

$$F_s = 0,205 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_s = 2,01 \text{ N}$$

$$T_1 = 2,01 \text{ N} \cdot 0,03 \text{ m} = 0,06 \text{ Nm} = 0,66118 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Para el cálculo del torque en la articulación dos se asumió como referencia un peso de 100g para el actuador ubicado en la articulación tres (peso promedio de los motores sin escobilla cuyo par motor máximo es de 10kg.cm) (ver Figura 35)



**Figura 35** Fuerzas que actúan sobre la articulación dos

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

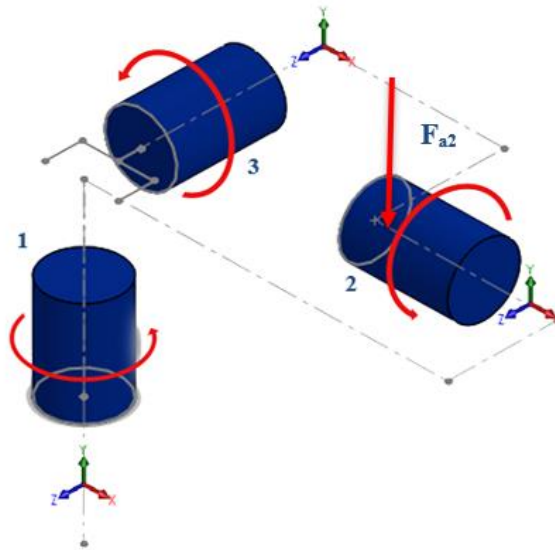
$$T_2 = F_{1a} x d$$

$$F_{1a} = 0,1kg * 9,81m/s^2$$

$$F_{1a} = 0.981N$$

$$T_2 = T_1 + 0.981N * 0,1m = 0,15Nm = 1.53kg.cm$$

Por último, el par motor del actuador tres se calcula siguiendo la misma ruta que en los actuadores dos y tres. (ver Figura 36)



**Figura 36** Fuerzas que actúan sobre la articulación tres

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

$$T_3 = F_{a2} \times d$$

$$F_{a2} = 0,1kg * 9,81m/s^2$$

$$F_{a2} = 0.981N$$

$$T_3 = T_2 + 0.981N * 0,144m = 0,29Nm = 2.9kg.cm$$

En base al valor obtenido del torque máximo (T3) que se da en el actuador 1 se realizará la selección de los actuadores para cada articulación.

### **Criterios para la selección de los actuadores**

Los criterios que principalmente rigieron la selección de los motores fueron el par motor requerido por el sistema, el tamaño que ocupa y su peso en gramos.

El análisis de los criterios se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6:** Criterios para la selección de los actuadores

| <b>CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS ACTUADORES</b> |   |
|--|---|
| Tamaño   | El tamaño de los actuadores debe ser el más pequeño posible para garantizar la ergonomía del sistema.   |
| Velocidad de giro                                    | La velocidad no es un factor condicionante en la elección de los actuadores ya que al ser un dispositivo que busca estabilizar no requiere movimientos a grandes velocidades.   |
| Par o torque mecánico                                | El torque teórico se calculó en el apartado anterior en base a una carga grande, el actuador debe tener un par superior 2.9kgf.cm   |
| Rango de voltaje admisible                           | Como el voltaje será proporcionado por una batería es de interés que se mantenga entre 4V y 8V  |
| Analógico o digital                                  | Analógico   |
| Material para engranajes                             | Con el objetivo de maximizar el par para un determinado tamaño, habrá que recurrir a engranajes metálicos.  |
| Peso   | Al igual que el tamaño el peso resulta un factor que en la medida de lo posible debe ser el menor posible, para que el estabilizador entre dentro de los estándares del mercado |
| Tipo de motor  | Se someterá al resto de criterios.  |
| Angulo de giro                                       | 360°  |

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

En base al análisis de los criterios de selección y una amplia investigación de mercado, la mejor opción para actuadores son los motores sin escobillas o motores brushless en inglés, como son mayormente conocidos, también pueden por sus siglas en BLDCM “Brushless Direct Current Motor”, ya que estos poseen ciertas ventajas frente a los motores convencionales sin escobillas, en este caso se debate entre estos y los servomotores convencionales.

Como principal desventaja en la implementación de los motores brushless se encuentra la necesidad de incorporar controladores electrónicos extra para su correcto funcionamiento, lo que supone un aumento en el costo del dispositivo, sin embargo la ergonomía y precisión que entregan en comparación a los servomotores lo ponen en una considerable ventaja, a pesar de que en general los servomotores son actuadores bastante económicos poseen una estructura muy tosca que le proporcionaría al dispositivo unas dimensiones poco atractivas, en cambio los BLDCM poseen diseños más elegantes y discretos ofreciendo una efectividad mayor.

Los motores brushless tienen un torque o par motor mayor que los servomotores, además de que al no tener escobillas no presentan roce lo que evita el desgaste, por ende, su vida útil es mucho más prolongada alcanzando incluso las 20.000 horas de funcionamiento a carga máxima.

La característica principal que determinó la elección de los motores brushless frente a los servomotores para el estabilizador de tres ejes fue la alta precisión y la rápida respuesta que entregan, ya que al poseer una precisión de giro tan limpia entregan un poder de estabilización mucho más exacto y a su vez mucho más rápido.

Evaluando tanto su capacidad mecánica como costo de adquisición al detal el motor brushless seleccionado fue el *D4215-11 De 650 Kv Marca Rcx* un motor brushless que se adquirió en Venezuela y que posee las siguientes características:



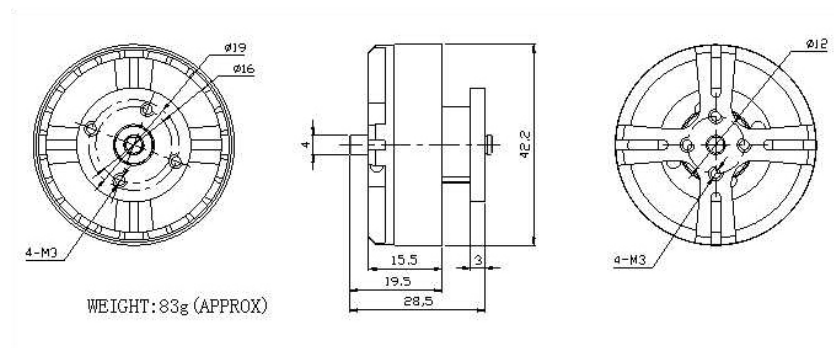
**Figura 37** D4215-11 De 650 Kv Marca Rcx

Fuente: RCX.com/brushless

| <b>D4215</b> |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
|              | D4215-21                            |
| KV(rpm/V)    | 650                                 |
| Max Pull     | 1500g                               |
| Max Power    | 300watt                             |
| Battery/prop | LiPox2/12x6 LiPox3/13x8 LiPox4/14x7 |
| Volts        | 7.4~14.8V                           |
| ESC          | 20A                                 |
| Motor size   | Φ42*15mm                            |
| Shaft size   | Φ4.0x25mm                           |

**Figura 38** Características del motor bushless

Fuente: RCX.com/brushless



**Figura 39** Dimensiones y peso del motor

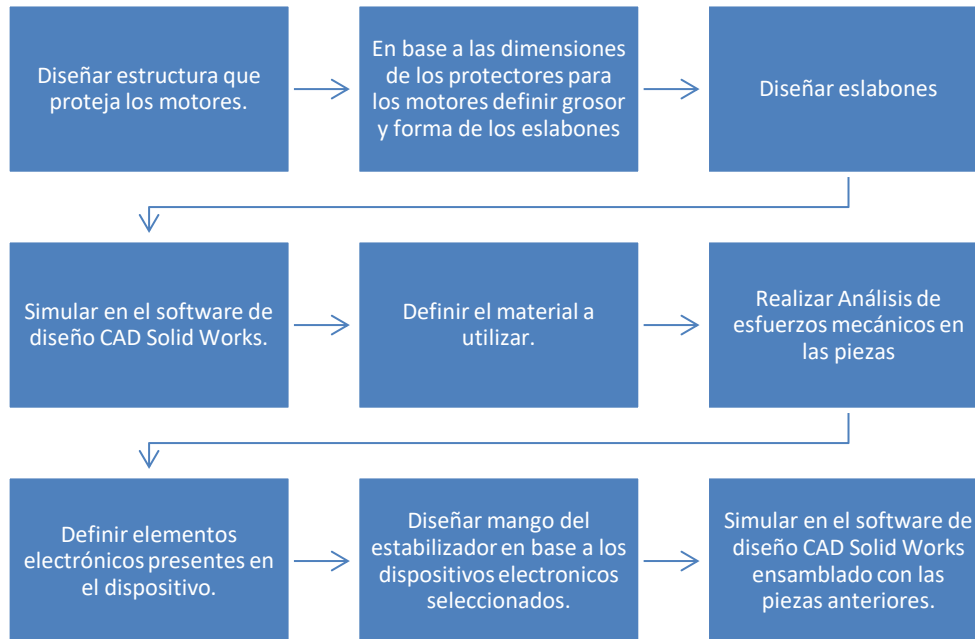
Fuente: RCX.com/brushless

#### 4.2.4 Diseño del dispositivo

##### Ruta de diseño

Para el diseño estructural del estabilizador de 3 ejes se utilizó el software de diseño CAD solidworks. Como punto de partida se tomaron las dimensiones del motor BLDCM seleccionado en el apartado anterior y en base a ellas mensurar los elementos restantes como las estructuras que protegen al motor y los eslabones.

Posterior, para el diseño del mango que servirá como soporte del estabilizador se definieron los elementos electrónicos presentes en el funcionamiento para la estabilización electromecánica, es decir, todos los dispositivos electrónicos que controlan los 3 motores brushless, para contrarrestar los movimientos desestabilizadores. Este será diseñado para un cierre a presión, por ende, todos los elementos electrónicos deben permanecer ajustados dentro de la estructura, para ello se creó una ruta de diseño (ver Figura 40) donde se especifican los pasos realizados para el diseño del prototipo.



**Figura 40** Ruta de diseño para el prototipo

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

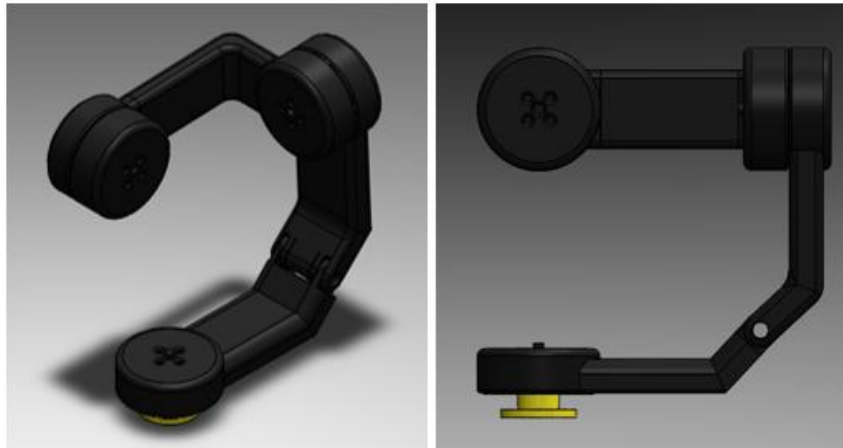
Este modelo de motor BLCDM consta de una carcasa giratoria que se fija en la parte superior e inferior (ver Figura 41) permitiendo transmitir el movimiento sin necesidad de incorporar un eje.



**Figura 41** Detalle D4215-11 De 650 Kv Marca Rcx

Fuente: [RCX.com/brushless](http://RCX.com/brushless)

Tomando en consideración lo anterior se logró diseñar la estructura modelando en el software de diseño CAD SolidWorks 2018, haciendo una simulación del motor BLDCM para dimensionar las carcasas y los eslabones para su posterior ensamble, el modelo quedó de la siguiente manera:



**Figura 42** Modelo 3D Solidworks 2018

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

### **Selección de material**

Para el análisis mecánico y posterior fabricación del dispositivo estabilizador se tomaron en consideración materiales utilizados frecuentemente en la industria cinematográfica principalmente varias aleaciones de aluminio, sin embargo, tomando en cuenta la disponibilidad de materiales en Venezuela y que en los últimos años la fibra de carbono por su baja densidad (1.750 kg/m<sup>3</sup>). y propiedades mecánicas atractivas como una alta resistencia (ver Figura 43) es un material muy apreciado en la industria espacial, aeronáutica, automovilística y se ha convertido en la opción más atractiva para dispositivos electrónicos ya que tiene un diseño y aspecto elegante, cosa que protege y reafirma la parte estética del producto.

El costo de la fibra varía según el proveedor en Venezuela, pero en términos generales suele tener un valor entre 90 y 100 dólares por ½ kg.

| <b>Propiedad</b>                | <b>Fibras LM</b> | <b>Fibras HM</b> | <b>Fibras UHM</b> |
|---------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Contenido en carbono (%)        | >97              | >99              | >99               |
| Diámetro de la fibra (µm)       | 11               | 11               | 10                |
| Densidad (g/cm)                 | 1,9              | 2,0              | 2,2               |
| Módulo de Young (GPa)           | 170-241          | 380-620          | 690-965           |
| Resistencia a la tracción (MPa) | 1380-3100        | 1900-2750        | 2410              |
| Alargamiento a la rotura (%)    | 0,9              | 0,5              | 0,4-0,27          |
| Resistividad eléctrica (µ_cm)   | 1300             | 900              | 220-130           |

**Figura 43** Propiedades físicas de la fibra de carbono

Fuente: <https://www.interempresas.net>

Siguiendo los lineamientos establecidos al inicio de este trabajo de investigación para el cumplimiento de una elaboración a bajo costo del prototipo se utilizó como recurso de fabricación la impresión 3D. Las impresoras 3D trabajan con material de filamento termoplástico su funcionamiento consiste básicamente en introducir filamento el cual durante la impresión sale derretido del extrusor y luego se endurece a medida que se enfría.

Los filamentos que se encuentran actualmente en Venezuela son a su vez los más comunes en impresión 3D, el PLA y el ABS.

PLA es un termoplástico biodegradable que se deriva de recursos renovables, como la maicena, la caña de azúcar, las raíces de tapioca o incluso la fécula de papa, sin embargo, para este prototipo se descartó su uso por su poca resistencia tanto mecánica como térmica (ver Figura 44).

| <b>Cualidad</b>                             | <b>PLA</b>            |
|---|-----------------------|
| Densidad (g/cm <sup>3</sup> )               | 1,24                  |
| Resistencia a tracción (MPa)                | Alta: 3309            |
| Resistencia a flexión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Muy alta: 485         |
| Resistencia al impacto (KJ/m <sup>2</sup> ) | Muy baja: 20          |
| Temperatura de deformación (°C)             | Baja: 55              |
| Resistencia UVA y humedad                   | Muy baja              |
| Reciclabilidad                              | Buena                 |
| Ópticas                                     | Exactitud en el color |

### Figura 44 PLA propiedades mecánicas

Fuente: <https://abax3dtech.com>

Con lo anterior como punto de partida se evaluaron las características del otro termoplástico disponible en el mercado, el ABS, Acrilonitrilo Butadieno Estireno, es un plástico muy resistente al impacto, utilizado especialmente en la industria de la automoción, se le suele llamar plástico de ingeniería porque su elaboración y procesamiento es algo más compleja que en los plásticos comunes.

El ABS es un polímero compuesto por tres bloques, acrilonitrilo, butadieno y estireno por lo que se le denomina terpolímero. Cada uno de los tres bloques aporta características distintas. El acrilonitrilo rigidez, resistencia a ataques químicos, dureza y estabilidad a las altas temperaturas. El butadieno, tenacidad a la temperatura cuando ésta es especialmente baja y resistencia a impacto; y el estireno, resistencia mecánica, rigidez, brillo, dureza.

Esta mezcla de propiedades (ver Figura 45) hace que el producto final sea de gran aplicación en la fabricación de equipos pesados y aparatos electrónicos, como es el caso del prototipo del estabilizador de 3 ejes.

| Propiedades                         | Método ASTM | Unidad                        | Grados de ABS |               |              |                      |
|-------------------------------------|-------------|-------------------------------|---------------|---------------|--------------|----------------------|
|                                     |             |                               | Alto impacto  | Impacto medio | Bajo Impacto | Resistent e al calor |
| Mecánicas a 23°C                    |             |                               |               |               |              |                      |
| Resistencia al impacto, prueba Izod | D2546       | J / m                         | 375-640       | 215-375       | 105-215      | 105-320              |
| Resistencia a la tensión            | D638        | Kg / mm <sup>2</sup>          | 3,3 - 4,2     | 4,2-4,9       | 4,2-5,3      | 4,2-5,3              |
| elongación                          | D638        | %                             | 15-70         | 10-50         | 5-30         | 5-20                 |
| Módulo de tensión                   | D638        |                               | 173-214       | 214-255       | 214-265      | 214-265              |
| Dureza                              | D785        | HRC (Rockwell)                | 88-90         | 95-105        | 105-110      | 105-110              |
| Peso específico                     | D792        |                               | 1,02-1,04     | 1,04-1,05     | 1,05-1,07    | 1,04-1,06            |
| Térmicas                            |             |                               |               |               |              |                      |
| Coefficiente de expansión térmica   | D696        | X 10 <sup>5</sup> cm / cm* °C | 9,5-11,0      | 7,0-8,8       | 7,0-8,2      | 6,5-9,3              |
| Distorsión por calor                | D648        | °C a 18,4 Kg /cm <sup>2</sup> | 93-99         | 96-102        | 96-104       | 102-112              |

### Figura 45 ABS propiedades mecánicas

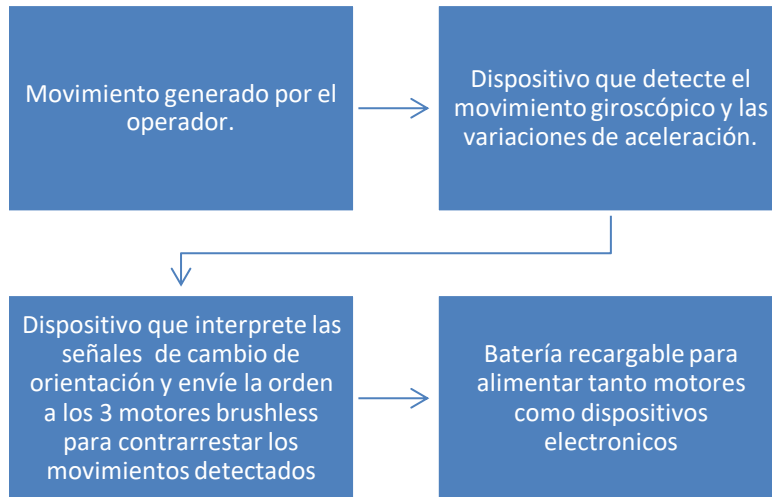
Fuente: <https://www.impresoras3d.com>

## **Funcionamiento electromecánico del estabilizador**

Antiguamente los dispositivos estabilizadores que eran utilizados en las grandes industrias cinematográficas lograban estabilizar tomas utilizando contrapesos en los estabilizadores que servían para mantener fija las cámaras de grabación, proceso que llevaba consigo una engorrosa etapa de calibración manual y por consiguiente la toma resultante no era perfectamente estable, estos procesos evolucionaron a la par de la tecnología incorporando a estos estabilizadores mecanismos y actuadores que contrarrestan los movimientos gracias a la señal que reciben de sensores electrónicos que detectan las variaciones de movimiento generadas por el operador o camarógrafo.

El objetivo del estabilizador es mantener al smartphone con cierta orientación a pesar de las perturbaciones impuestas por el usuario, por lo tanto, las variables a controlar son los ángulos de orientación cabeceo, alabeo y guiñada del smartphone, los cuales deben tender a un valor deseado igual a cero en el caso del cabeceo y alabeo (objetivo de control de estabilización) y en el caso del ángulo de guiñada debe tender a un valor deseado variable, el cual depende de la dirección que el usuario quiere enfocar pero con cierto desempeño (objetivos de control de seguimiento y desempeño).

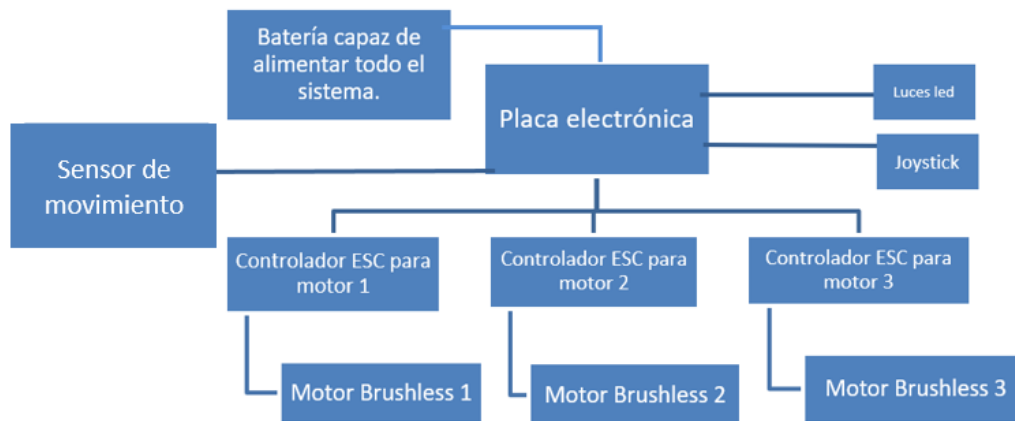
Se diseñó el dispositivo estabilizador de 3 ejes en base a un principio electromecánico, es decir, que cumpla la función de estabilizar el smartphone de forma mecánica con la ayuda de sensores electrónicos. El funcionamiento que se quería desarrollar a niveles muy generales se esquematizó (ver Figura 46) para su posterior interpretación y desarrollo a detalle.



**Figura 46** Esquema de funcionamiento básico

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

Luego de un exhaustivo trabajo de investigación se realizó un segundo esquema que ejemplifica las conexiones de forma más explícita, identificando los dispositivos electrónicos que actúan en el sistema para el cumplimiento de las funciones, así como los dispositivos controladores que necesitan para funcionar correctamente (ver Figura 47)



**Figura 47** Esquema de funcionamiento

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

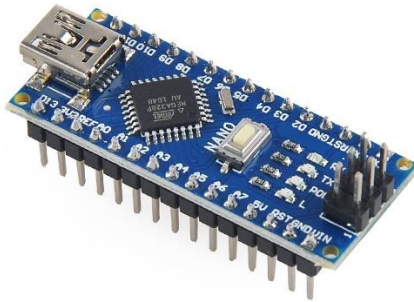
Tomando como punto inicial dispositivos electrónicos presentes en el mercado venezolano se seleccionaron los que ofrecían mejor relación calidad-precio que servirán como controladores y sensores para el desarrollo del prototipo.

Todo con la finalidad de crear un prototipo funcional que sirva como base para el diseño y desarrollo de un circuito electrónico fabricado por ISKRATRONICS C.A.

### **Placa Electrónica**

Para la conexión, alimentación y programación de los dispositivos electrónicos se utilizará un Arduino, Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso, lo que hace que sea práctico para la realización del prototipo por su bajo costo y fácil programación además de ser compatible con gran cantidad de dispositivos.

Se utilizó un Arduino nano 168p (ver Figura 48)



**Figura 48** Arduino nano 168p

Fuente: <https://roboticafacil.es/prod/arduino-nano-v3-0-compatible-atmega168/>

#### Características:

- Microcontroller; Atmel ATmega328
- Operating Voltage (logic level): 5V

- Input Voltage (recommended): 7-12V
- Input Voltage (limits): 6-20V
- Digital I/O Pins: 14 (of which 6 provide PWM output)
- Analog Input Pins: 8
- DC Current per I/O Pin: 40mA
- Flash Memory: 16 KB (of which 2KB used by bootloader)
- SRAM: 1 KB
- EEPROM: 512 bytes
- Clock Speed: 16 MHz
- Dimensiones: 0.70" x 1.70"

### **Sensor de movimiento**

Para la detección en las variaciones de posición del dispositivo existen los IMU por sus siglas Unidades de Medición Inercial que poseen integrado un sistema de giroscopios y acelerómetros que detectan de forma muy precisa las variaciones de movimiento, específicamente detectando la actual tasa de aceleración usando uno o más acelerómetros, y detecta los cambios en atributos rotacionales tales como cabeceo, alabeo y guiñada usando uno o más giróscopos.

Luego de un estudio de mercado el IMU seleccionado para la realización del prototipo fue el MPU-6050 (ver Figura 49) El sensor MPU-6050 es muy preciso, ya que contiene una conversión hardware de 16 bits de A/D por cada canal, para la digitalización de las salidas del acelerómetro. Para ello capta los canales x, y y z al mismo tiempo. El sensor utiliza el I2C-bus para interconectar con el Arduino.



**Figura 49** MPU-6050

Fuente: [https://naylampmechatronics.com/blog/45\\_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html](https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html)

EL MPU6050 es una unidad de medición inercial o IMU (Inertial Measurement Units) de seis grados de libertad (DoF) pues combina un acelerómetro de tres ejes y un giroscopio de tres ejes. Este sensor es muy utilizado en navegación, goniometría, estabilización, etc.

#### Aceleración y acelerómetros

La aceleración es la variación de la velocidad por unidad de tiempo es decir razón de cambio en la velocidad respecto al tiempo:

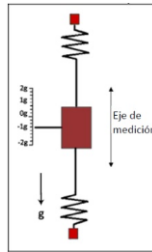
$$a = dV/dt$$

Así mismo la segunda ley de Newton indica que en un cuerpo con masa constante, la aceleración del cuerpo es proporcional a la fuerza que actúa sobre él mismo:

$$a = F/m$$

Este segundo concepto es utilizado por los acelerómetros para medir la aceleración. Los acelerómetros internamente tienen un MEMS (MicroElectroMechanical Systems) que de forma similar a un sistema masa resorte

permite medir la aceleración (ver Figura 50).

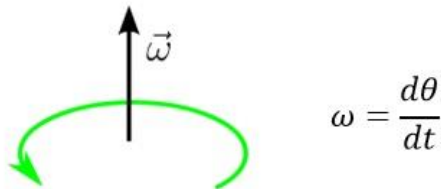


**Figura 50** Sistema de resortes que mide la aceleración en el IMU

Fuente: [https://naylampmechatronics.com/blog/45\\_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html](https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html)

### Velocidad Angular y giroscopio:

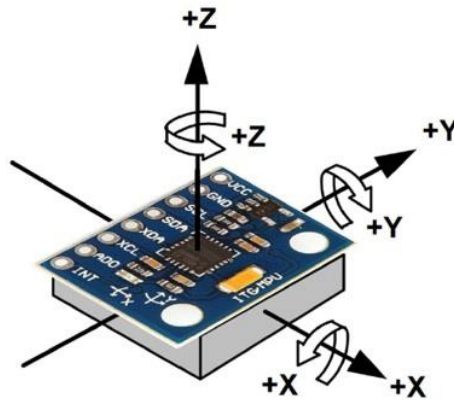
La velocidad angular es la tasa de cambio del desplazamiento angular por unidad de tiempo, es decir que tan rápido gira un cuerpo alrededor de su eje:



**Figura 51** Velocidad angular

Fuente: [https://naylampmechatronics.com/blog/45\\_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html](https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html)

Los giroscopios utilizan un MEMS (MicroElectroMechanical Systems) para medir la velocidad angular usando el efecto Coriolis. Con un giroscopio podemos medir la velocidad angular, y si se integra la velocidad angular con respecto al tiempo se obtiene el desplazamiento angular (posición angular si se sabe dónde se inició el giro). El módulo Acelerómetro MPU tiene un giroscopio de tres ejes con el que podemos medir velocidad angular y un acelerómetro también de tres ejes con el que medimos los componentes X, Y y Z de la aceleración. La dirección de los ejes está indicada en el módulo. (ver figura 52)



**Figura 52** Sistema de coordenadas en el IMU

Fuente: [https://naylampmechatronics.com/blog/45\\_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html](https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html)

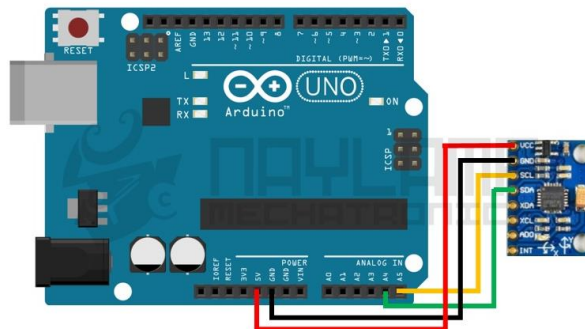
Las características del IMU se especifican en la tabla 7.

**Tabla 7** Características del MPU 6050

| TIPO DE SENSOR | RANGO DE GYRO (°/seg) | RANGO DE ACELEROMETRO (g) | SALIDA DIGITAL | RANGO DE VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN (V+/-5%) | DIMENSIONES DE L SENSOR (mm) |
|----------------|-----------------------|---------------------------|----------------|---|------------------------------|
| MPU - 6050     | ± 250                 | ± 2                       | I2C            | 2.375V–3.46V                              | 4 x 4 x 0.9                  |
|                | ± 500                 | ± 4                       |                |   |                              |
|                | ± 1000                | ± 8                       |                |   |                              |
|                | ± 2000                | ± 16                      |                |   |                              |

Fuente: <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/>

Esta unidad de medición inercial es compatible con Arduino y la conexión entre ambos se ve en la Figura 53



**Figura 53** Conexión con Arduino

Fuente: <https://naylampmechatronics.com/blog/tutorial-mpu6050giroscopio.html>

## Controladores para los motores brushless

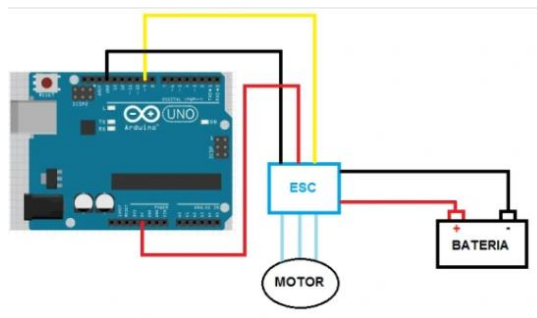
El motor brushless consta de un motor sin escobillas, trifásico, alimentado por CC. Su eje es arrastrado por un campo magnético giratorio que es generado y controlado por un circuito de conmutación de convertidor electrónico conocido como ESC (control electrónico de velocidad). Como se especificó anteriormente los motores brushless necesitan de estos controladores para funcionar correctamente.

Los controladores ESC compatibles con el motor D4215-11 De 650 Kv Marca Rcx son de 40v y se puede ver una ilustración en la Figura 54.



**Figura 54** controlador ESC 40v

Fuente: <https://automacaoifrsrg.wordpress.com/category/sem-categoria/>



**Figura 55** Conexión con Arduino de controlador ESC y motor Brushless

Fuente: <https://automacaoifrsrg.wordpress.com/category/sem-categoria/>

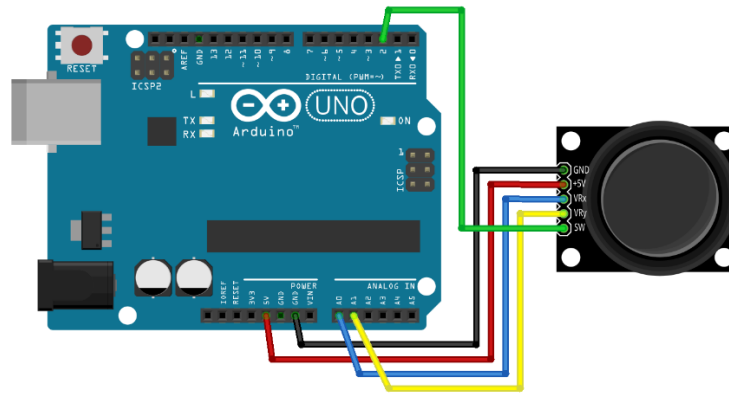
## Joystick

Con el objetivo de implementar movimiento controlado en el dispositivo se implementó un joystick compatible con Arduino, específicamente el KY-023 (ver Figura 56)



**Figura 56** Joystick KY-023

Fuente: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/10/16/joystick-arduino>



**Figura 57** Joystick KY-023 con Arduino

Fuente: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/10/16/joystick-arduino/>

## Batería de litio

Una batería LiPo (Litio y polímero) es un tipo de batería recargable muy habitual en el mundo de los multirrotores. Son muy recomendables ya que ofrecen unas prestaciones superiores a las NiCd y NiHm.

Una batería LiPo puede almacenar una gran cantidad de energía y puede

fabricarse en medidas personalizadas. Ofrecen una tasa de descarga muy alta. Para la correcta selección de la batería se realizó la suma de potencia de todos los dispositivos electrónicos que estarán siendo alimentados por la misma.

**Tabla 8** Cálculo de la potencia necesaria

| Dispositivo                                 | Cantidad | Tensión (V)  | Intensidad (A) | Potencia (W)   |
|---|----------|--------------|----------------|----------------|
| Motor<br>D4215-11<br>De 650 Kv<br>Marca Rex | <b>3</b> | <b>11.1</b>  | <b>0.5A</b>    | <b>16.65W</b>  |
| Arduino<br>nano                             | <b>1</b> | <b>5V</b>    | <b>0.04A</b>   | <b>0.2W</b>    |
| MPU6050                                     | <b>1</b> | <b>5V</b>    | <b>0.02A</b>   | <b>0.1W</b>    |
| Joystick                                    | <b>1</b> | <b>1.25v</b> | <b>0.02A</b>   | <b>0.025W</b>  |
|   |          |              | <b>TOTAL</b>   | <b>16.975W</b> |

Fuente: Gutierrez C. y Rumbo L.

Tomando en cuenta ese potencial eléctrico se selecciona una batería de LiPo, en este caso se seleccionó una 4s de 11.1v y 2200mA (ver Figura 58)



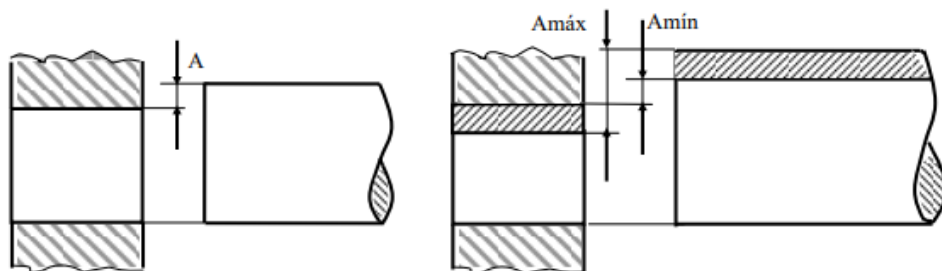
**Figura 58** Batería de LiPo

Fuente: <https://sandorobotics.com/producto/t2200-3s/>

#### 4.2.4.1.3 Diseño del mango del estabilizador.

Luego de haber seleccionado todos los elementos electrónicos que estarán presentes en el dispositivo y tener información detallada acerca de sus dimensiones reales se realizó el diseño del mango que contendrá en su interior la batería, el Arduino nano, la IMU, la base del motor uno y su respectivo controlador ESC. En concordancia con el mantenimiento de la ergonomía del diseño y con el objetivo de reducir espacio, los controladores ESC de los motores dos y tres respectivamente se ubicarán dentro de los brazos o eslabones previamente diseñados.

El diseño consta de dos lados que se unirán a presión, para el diseño de este apriete se tuvo en consideración que en los procesos de fabricación es prácticamente imposible que dos piezas tengan la misma medida por lo que se diseñará en base a un ajuste a presión o forzado. Un ajuste recibe el nombre de ajuste a presión cuando se ejecuta mediante un ajuste forzado, es decir cuando el diámetro del eje es mayor que el del agujero donde se desea colocar, la unión se realiza mediante apriete manual o por medio de prensas.



**Figura 59** Ajuste forzado

Fuente: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/tecnologia/archivos/TecFab/11.pdf>

*Aprieto máximo (Amáx):* Es la diferencia entre la medida mínima del agujero y la medida máxima del eje, cuando dicha diferencia es negativa

$$Amáx = Dmín A - Dmáx E = - Jmín$$

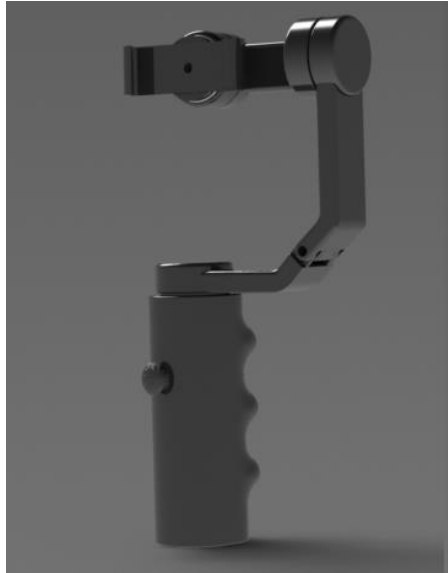
En estos casos el juego debe ser negativo y para el diseño se utilizará un juego negativo o apriete máximo de  $-0.1\text{mm}$  para el ajuste a presión.

Tomando en cuenta lo anterior se diseñó un mango para la base del estabilizador y se simuló con los elementos electrónicos en el software de diseño CAD Solid Works 2018 (ver Figura 60)



**Figura 60** Mango del dispositivo

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)



**Figura 61** Diseño completo del estabilizador renderizado

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)



**Figura 62** Vista explosionada del estabilizador

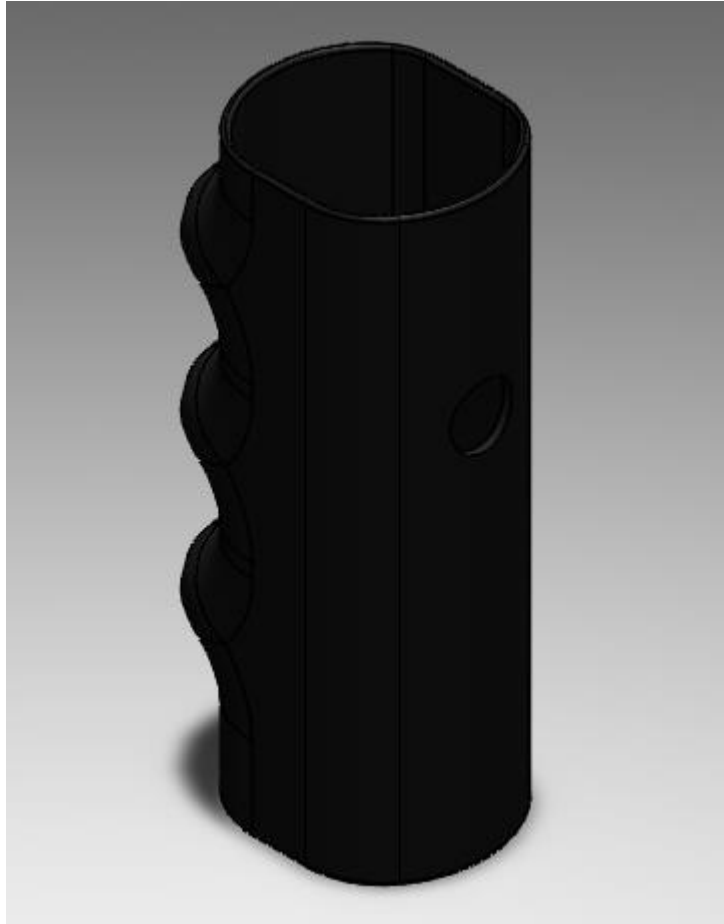
Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

Finalmente, al mango del estabilizador se le agregó una cubierta de goma símil a la forma que tienen las empuñaduras que proporcionó mayor seguridad al agarre del dispositivo, haciéndolo más cómodo para largos periodos de grabación, el uso de este es opcional (ver Figura 63)



**Figura 63** Mango del estabilizador con cubierta de goma

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)



**Figura 64** Cubierta de goma

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

### **Análisis de esfuerzos en las piezas del dispositivo.**

Posterior al diseño y simulación en Solidworks 2018 se evaluaron todas las propiedades físicas del ensamblaje, utilizando el material del prototipo, el ABS, así como la ubicación del centro de masa (ver Figura 65) para la realizaron los análisis estructurales del dispositivo sometiendo cada pieza a diferentes esfuerzos que se consideran normales y en su mayoría críticos con el objetivo de evaluar el comportamiento del material.

En el caso de estudio se hará una comparación entre el termoplástico seleccionado para el prototipo, el ABS y la fibra de carbono que es el material que se

utilizaría para el desarrollo del dispositivo a nivel comercial.

```
Masa = 865.26 gramos

Volumen = 462284.81 milímetros cúbicos

Área de superficie = 260284.40 milímetros cuadrados

Centro de masa: ( milímetros )
X = -54.53
Y = 131.58
Z = 165.34

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )
Medido desde el centro de masa.
lx = ( 0.05, 1.00, 0.08)   Px = 1470851.31
ly = (-0.08, -0.08, 0.99)  Py = 9905552.53
lz = ( 1.00, -0.06, 0.08)  Pz = 11029977.44

Momentos de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.
Lxx = 10995231.51   Lxy = 511968.89   Lxz = -50554.66
Lyx = 511968.89    Lyy = 1558712.69  Lyz = 713870.94
Lzx = -50554.66    Lzy = 713870.94  Lzz = 9852437.09

Momentos de inercia: ( gramos * milímetros cuadrados )
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.
lxx = 49630501.45   lxy = -5696356.90   lxz = -7851696.10
lyx = -5696356.90   lyy = 27785759.87   lyz = 19538452.78
lzx = -7851696.10   lzy = 19538452.78   lzz = 27406275.10
```

**Figura 65** Propiedades físicas del prototipo

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)



**Figura 66** Prototipo con delimitado con ubicación de centro de masa

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

### **Análisis estáticos:**

Se realizaron las simulaciones en las piezas que soportan mayor esfuerzo. Esto permitió observar aquellas zonas que soportaran las mayores tensiones y deformaciones y saber si el prototipo soportará las cargas a las que se someterá. La simulación realizada en el software Solidworks 2018, muestra como resultado la tensión de Von Mises (MPa) y la deformación (mm) que la pieza sufre.

La tensión de Von Mises se obtiene de la combinación de los esfuerzos principales en un punto en concreto para determinar en qué puntos ocurre el esfuerzo en el eje X, Y y Z ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ).

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

En ingeniería se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles. Este método de cálculo se utiliza para medir el esfuerzo y las distribuciones de tensión.

El punto de interés es ubicar el punto dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de Von Mises es igual al límite elástico (MPa) del material. Por lo tanto, para saber que un material es capaz de soportar los esfuerzos la tensión de Von Mises ha de ser igual o menor que el límite elástico:

$$\sigma_{VM} \leq \sigma_{elastica}$$

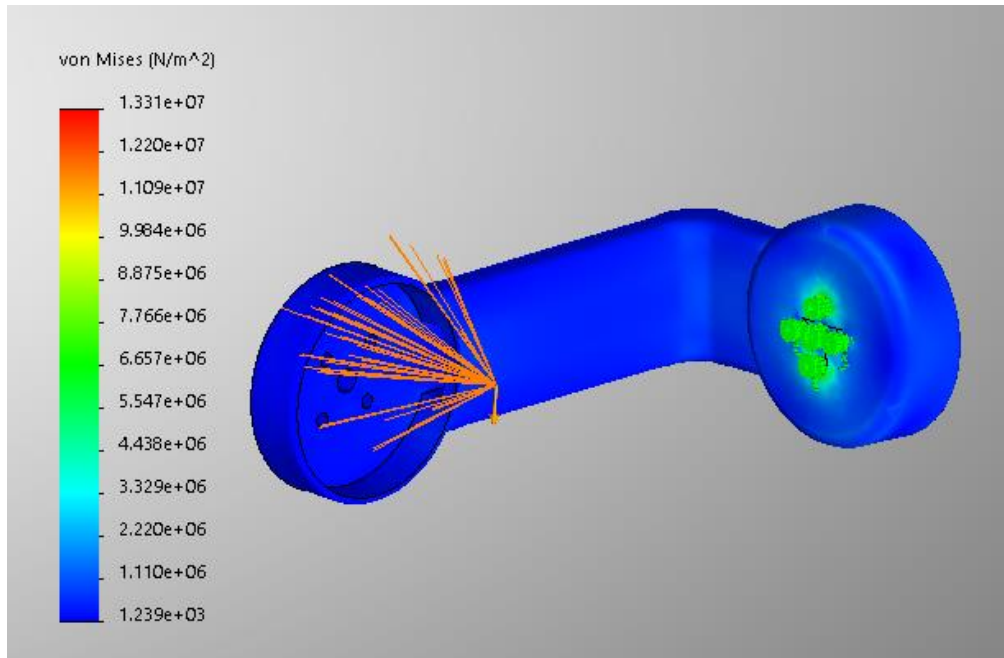
Un indicador muy útil a la hora de comprar los resultados es el factor de seguridad, que como su nombre indica nos da una idea de lo que la pieza le falta por llegar a romperse o deformarse plásticamente:

El FDS se suele mostrar en tanto por ciento (%).

$$FDS = \sigma_{limite} / \sigma_{VM}$$

- ***Brazo 1 que soporta el smartphone:***

Este elemento soporta la carga del smartphone



**Figura 67** Análisis de tensión de VM del brazo 1 de soporte de smartphone

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

La tensión máxima que soporta es de 13.31Mpa la tensión límite del ABS es de 30Mpa por ende el factor de seguridad es:

$$FDS = \frac{30}{13.31} = 2.25$$

Un factor de seguridad apropiado que cumple con los requerimientos del diseño.

- ***Brazo 2 que soporta el brazo 1***

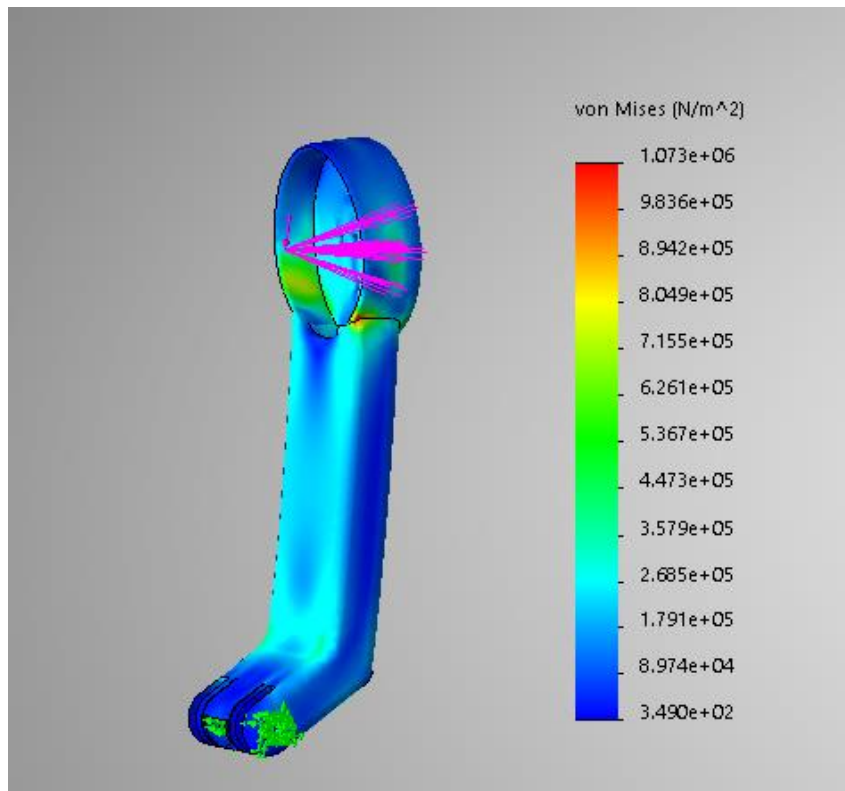
Haciendo una rápida sumatoria el brazo 2 soportará el peso del brazo 1 más su motor y el smartphone.

**Tabla 9** Carga total soportada por el brazo 2

| Carga que soporta | kg      |
|-------------------|---------|
| <b>Brazo 1</b>    | 0.377   |
| <b>Motor 2</b>    | 0.085   |
| <b>total</b>      | 0.464kg |

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

Aplicando esa carga en el sistema nos arroja los siguientes datos:



**Figura 68** Análisis de tensión de VM del brazo 2

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

La tensión máxima que soporta es de 10,522Mpa

$$FDS = \frac{30}{10.533} = 2.84$$

Un factor de seguridad apropiado que cumple con los requerimientos del

diseño.

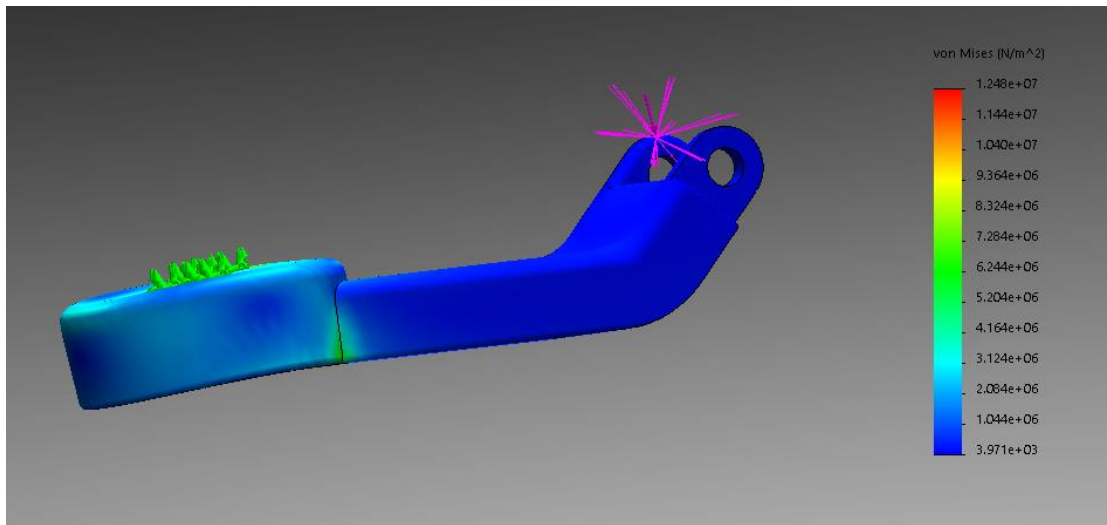
- *Brazo que soporta la carga de los brazos 1 y 2*

Este brazo soporta:

**Tabla 10** Carga total soportada por el brazo 1

| Carga que soporta | kg      |
|-------------------|---------|
| <b>Brazo 1</b>    | 0.464   |
| <b>Brazo 2</b>    | 0.030   |
| <b>total</b>      | 0.494kg |

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)



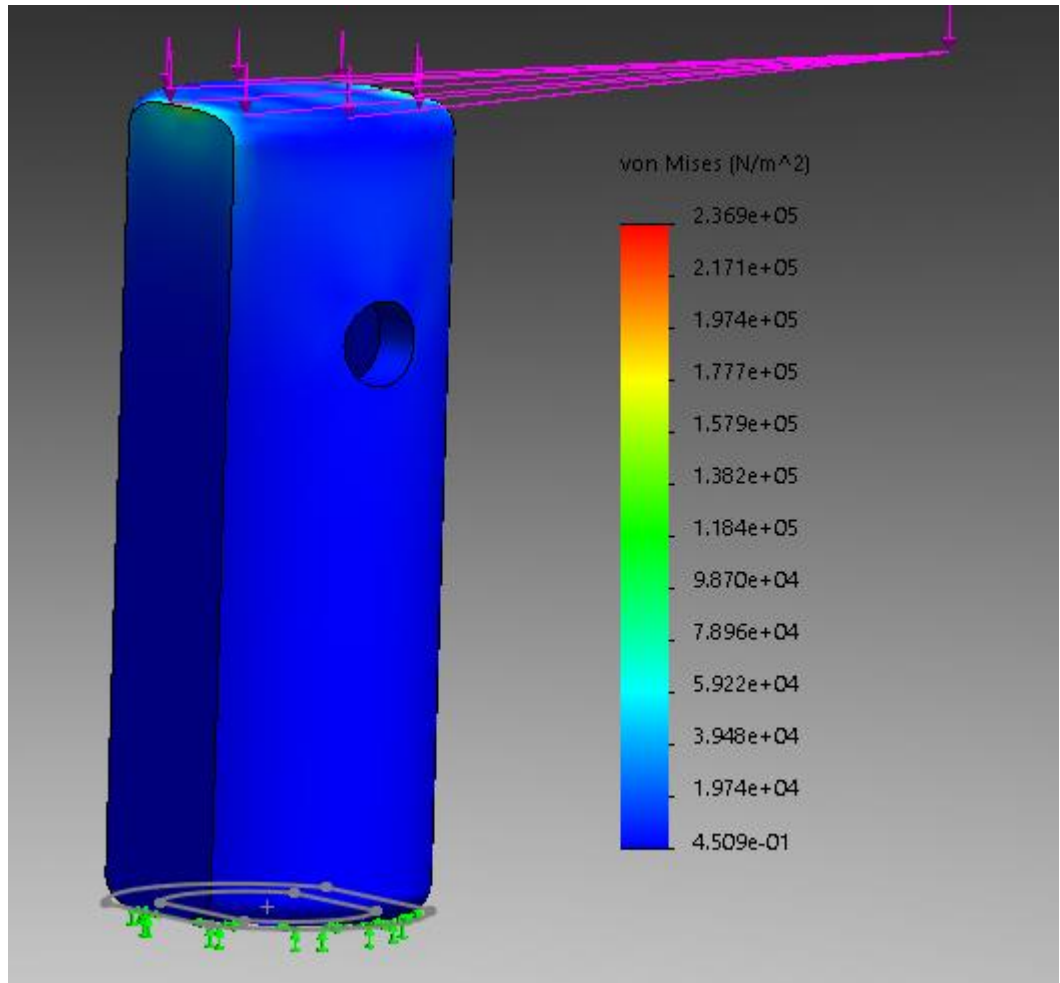
**Figura 69** Análisis de tensión de VM del brazo tres

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

La tensión máxima que soporta es de 12,488Mpa

$$FDS = \frac{30}{12.488} = 2.40$$

Un factor de seguridad apropiado que cumple con los requerimientos del diseño.



**Figura 70** Análisis de tensión de VM del mango del estabilizador

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

En este caso la tensión de Von Mises es mucho menor que el límite elástico del material en cuestión.

Los análisis de desplazamiento de las piezas se encuentran en los anexos X y dieron como resultado que los desplazamientos máximos que sufrirían las piezas de estudio eran entre 0.04 y 0.9mm, un desplazamiento casi imperceptible al ojo.

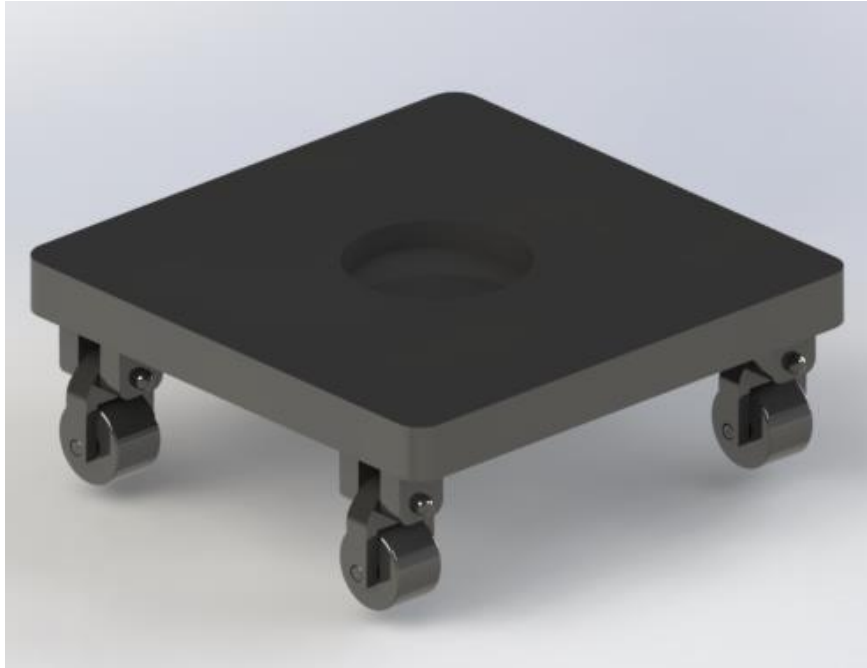
### **4.3 Analizar la posibilidad de incorporar un dispositivo de movilidad**

Se evaluó la posibilidad de incorporar al dispositivo un accesorio que le aporte movilidad al sistema de forma externa, para ampliar su campo de aplicación, en caso de ser factible se realizará el diseño del mismo.

El estabilizador de tres ejes fue diseñado con el objetivo de contrarrestar todos los movimientos realizados por el operador al mantenerlo en movimiento,

Con el diseño presentado se evidencio la posibilidad de incorporar algún dispositivo de movilidad debido a que este cuenta con una perforación roscada de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, en la parte inferior del mango por lo que es posible diseñar un accesorio para movilidad, además de ser compatible con la gran mayoría de accesorios dentro de la industria cinematográfica como los trípodes y dolly. El dolly es una herramienta muy usada en comerciales y cortometrajes por sus movimientos de cámara limpios y precisos, sin embargo, suele ser aparatoso y con lleva tiempo de armado.

Para el diseño de este accesorio se partió de la necesidad de contar con un medio de sujeción para el estabilizador, además de otorgar una aplicación adicional al estabilizador de tres ejes. Por ello se ideó el siguiente modelo que sirvió de base ya que permite mantener de pie el estabilizador ajustando su base a la del dispositivo sin la ayuda de un operador y a su vez por medio de la incorporación de una extensión al dispositivo abre la posibilidad de realización de tomas laterales, muy frecuentes dentro de la industria cinematográfica.



**Figura 71** Base del dispositivo de movilidad

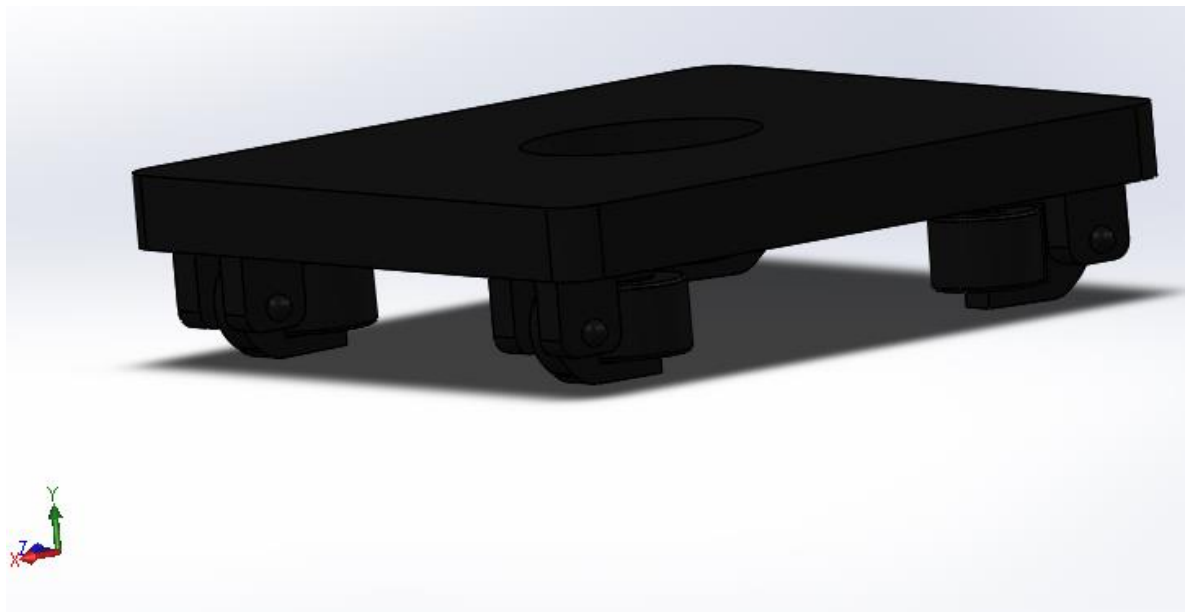
Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

Se muestra la vista isométrica de la base, la cual cuenta en su parte superior con una muesca circular donde es fijado el mango del dispositivo por medio de una rosca de  $\frac{1}{4}$  de pulgada (medida estándar en el mundo audiovisual). En la parte inferior observamos las ruedas que permitirán darle movilidad en dispositivo, en dirección lineal de manera análoga a los dollys utilizados en la industria cinematográfica con la particularidad de que no necesitaran de un riel que rija su movimiento por lo que le aporta una menor complejidad y a su vez mayor facilidad de uso, estas ruedas son rebatibles por lo que permiten guardarse y la base queda entonces fija a la superficie sin posibilidad de desplazarse, esto dependerá de la acción que quiera realizar el usuario.



**Figura 72** Vista Frontal de Base de Estabilizador Retraída

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)



**Figura 73** Vista Isométrica de Base de Estabilizador Retraída

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

Se observa el prototipo de base en esta ocasión con las ruedas retraídas, eliminando entonces la movilidad del mismo, este consta de cuatro piezas la base, el

pasador base-soporte de rueda, la rueda y el eje de la rueda que la mantiene sujeta al soporte.

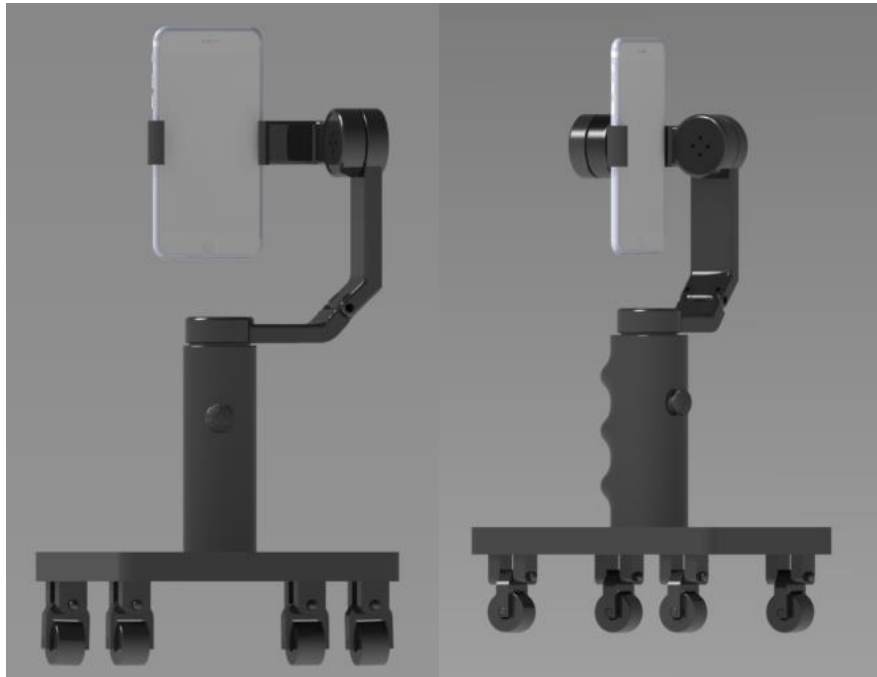


**Figura 74** Base de Estabilizador con Extensión

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

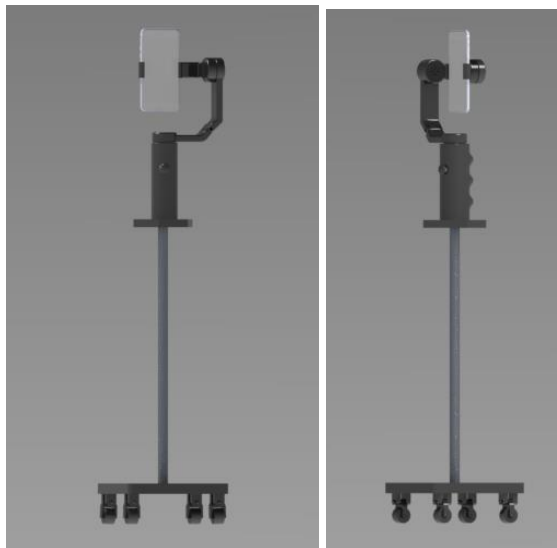
En la Figura 75 se muestra el modelo de base acoplado a la extensión, lo cual permite la fijación del dispositivo a una mayor altura y en conjunto con la base móvil la captura de imágenes en simetría exacta y constante con el plano que se esté filmando.

A continuación, se muestra el estabilizador acoplado a la base en sus dos modalidades, en vistas frontal e isométrica respectivamente



**Figura 75** Vista frontal e isométrica de la base acoplada con estabilizador.

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)



**Figura 76** Vista frontal de la base con extensión acoplada con el estabilizador

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

#### **4.4 Evaluar su factibilidad en cuanto a diseño y costo en Venezuela**

Se realizó un análisis de costos para la elaboración del prototipo y posterior fabricación en masa del dispositivo para producción en ISKRATRONICS. Con ello se evaluó la rentabilidad del dispositivo en comparación con los ya existentes en el mercado.

##### **4.4.1 Análisis de costos**

Con el propósito de validar el presente trabajo de investigación se procedió a realizar una evaluación de costos de fabricación del dispositivo en Venezuela, además de una proyección de la inversión que deberá realizar la empresa, ISKRATRONICS CA, lo cual permitirá establecer la relación costo beneficio para llevar a cabo la producción a gran escala del dispositivo en el territorio nacional en comparación con los precios que se manejan en el mercado venezolano.

ISKRATRONICS es una empresa que se dedica al diseño y fabricación de dispositivos electromecánicos para la industria cinematográfica, actualmente en el territorio venezolano es la única empresa dedicada al desarrollo de estos dispositivos con mano de obra venezolana, en el mercado ofrecen precios atractivos para aquellas personas que se desenvuelven en este ámbito ya que su ventaja principal es que eliminan los costos de importación, obteniendo dispositivos diseñados especialmente para el mundo audiovisual.

Con el fin de cuantificar los costos de producción del prototipo desarrollado, se procedió a definir los costos de cada uno de los componentes y materiales utilizados para su fabricación, para luego realizar una proyección de mediana producción incluyendo costos de mano obra, maquinaria e infraestructura de la empresa, así como todo aquello que genere un importe económico a la fabricación del dispositivo.

##### **4.4.2 Costo Diseño**

Para dar inicio al desarrollo de este proyecto en las instalaciones de

ISKRATRONICS C.A. en la ciudad de Barquisimeto, estado Lara, se realizó la investigación y desarrollo de un prototipo, para posteriormente realizar un diseño tanto electrónico como mecánico que satisfaga las necesidades básicas a cumplir para la mejora de los dispositivos existentes en el mercado venezolano, pero la valía principal de este proyecto es la producción del mismo en territorio nacional, generando empleos e incentivando no solo la producción nacional de equipos electromecánicos sino del desarrollo de la industria cinematográfica en el país.

Una meta clave para corroborar la factibilidad del desarrollo del estabilizador de 3 ejes para ISKRATRONICS es que la realización de 1 prototipo con componentes encontrados en el mercado venezolano tenga como coste final un precio por debajo de los estabilizadores que se encuentran en el mercado resultado que fue completamente satisfactorio.

En la tabla 10 se muestra los costos de cada uno de los componentes y materiales utilizados para la fabricación del prototipo modelo de este trabajo de investigación, estos son precios al detal de componentes adquiridos en el territorio nacional.

**Tabla 10** Costos de componentes y material utilizado para la fabricación del prototipo.

| Componente   | Cantidad | Costo unitario en dólares | Costo total en dólares |
|--|----------|---------------------------|------------------------|
| Motor Brushless D4215 4215 650KV High Power Drone Flat | 3        | 5                         | 15                     |
| IMU MP650  | 1        | 2                         | 2                      |
| Arduino Nano 168P                                      | 1        | 4                         | 4                      |
| Bateria Lipo 3S 11,1 V 3300 mAh                        | 1        | 20                        | 20                     |
| Controladores ESC para motores Brushless               | 3        | 5                         | 15                     |
| Joystick compatible con Arduino                        | 1        | 2                         | 2                      |
| Cables   | N.A      | 2,5                       | 2,5                    |
| Conectores   | N.A      | 2,5                       | 2,5                    |
| Termoplástico ABS                                      | ½ kg     | 20                        | 10                     |
| Tornillos  | 5        | 0,75                      | 3,75                   |
|  |          | <b>Total</b>              | <b>\$76.75</b>         |

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

Conociendo el costo total de los componentes del prototipo modelo y considerando los costos producción por unidad los cuales cumplen con ser menores que los dispositivos presentes en el mercado se realiza una proyección de producción de 100 unidades semestrales en las instalaciones de ISKRATRONICS.

Al tratarse de 100 unidades se opta por la adquisición de componentes al mayor, la impresión 3D y circuitos electrónicos desarrollados a partir del funcionamiento del prototipo lo que genera una reducción considerable en los costos de cada uno de los componentes, como también en los materiales empleados para la fabricación.

Teniendo en consideración que el prototipo fue fabricado en plástico ABS por medio de una impresora 3D por tratarse de una sola unidad y en la búsqueda de reducir los costos de fabricación de la estructura, para la producción de 100 unidades se optará por la impresión 3D, y a gran escala se manejará el material seleccionado inicialmente, la fibra de carbono el cual debe ser moldeado por medio de inyección es decir se debe considerar el costo de la realización de moldes de inyección, esta inversión tiene sentido para producciones en masa (entre 1.000-10.000 unidades) ya que el costo es elevado. Esto es considerado y especificado en la tabla N°11 que se presenta a continuación.

**Tabla 11** Costos de componentes y material utilizado para la producción a gran escala

| Componente                                  | Cantidad | Costo unitario en dólares | Costo total en dólares |
|---|----------|---------------------------|------------------------|
| Motor Brushless                             | 300      | 2                         | 600                    |
| Circuito electrónico                        | 100      | 0.3                       | 30                     |
| Fibra de carbono (kg)                       | 30       | 90                        | 2.700                  |
| Bateria Lipo 3S 11,1 V<br>3300 mAh          | 100      | 3                         | 300                    |
| Controladores ESC para<br>motores Brushless | 300      | 2                         | 600                    |
| Joystick                                    | 100      | 0.2                       | 20                     |
| Cables                                      | N.A.     | NA                        | 20                     |
| Conectores                                  | N.A.     | NA                        | 20                     |
| Tornillos                                   | NA       | NA                        | 25                     |
|   |          | <b>Total</b>              | <b>\$4.315</b>         |

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

Se observan los costos totales en componentes, materiales y moldes utilizados para la fabricación de los dispositivos a esto debemos agregar los gastos generados por la empresa durante la fabricación de estos dispositivos que se estima sería de 2 semanas de producción, en estos se toma en consideración la mano de obra, los costos por infraestructura, mantenimiento de equipos, material de oficina, entre otros gastos los cuales se detallan en las tablas mostradas a continuación.

**Tabla 12** Costos del Personal

| Personal                | Unidad de Medida | Costo (\$) / hora | Cantidad      | Costo total en dólares |
|-------------------------|------------------|-------------------|---------------|------------------------|
| Ingeniero Mecatrónico   | Hora             | 2                 | 100           | 200                    |
| Gerente de Taller       | Hora             | 1.5               | 150           | 225                    |
| Ventas                  | Hora             | 0.3               | 240           | 72                     |
| Obreros y técnicos (10) | Hora             | 0.5               | 240           | 120                    |
|                         |                  |                   | <b>Total:</b> | <b>567</b>             |

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

**Tabla 13** Gastos generados por la empresa para la fabricación

| Gastos                   | Costo Total en Dólares |
|--------------------------|------------------------|
| Mantenimiento de equipos | 100                    |
| Infraestructura          | 50                     |
| Material de Oficina      | 15                     |
| <b>Total</b>             | <b>175</b>             |

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

Una vez considerados los costos de componentes y fabricación del dispositivo se procede a realizar una sumatoria para determinar la inversión total que debe hacer la empresa y de esta forma obtener el costo por unidad para la empresa, para posteriormente definir el costo de comercialización en el mercado.

**Tabla 14** con Inversión total de la empresa, costo de fabricación y costo comercialización.

| Descripción                     | Costo Total (\$) |
|---------------------------------|------------------|
| Costo de Componentes y Material | 4.315            |
| Costos del Personal             | 567              |
| Gastos de la empresa            | 175              |
| <b>Total</b>                    | <b>5.057</b>     |

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

El costo de fabricación por unidad sería de \$50.57. Una vez definido el precio de producción por unidad del dispositivo, se lleva a cabo un análisis de cómo se posiciona el dispositivo en cuestión dentro del mercado de estabilizadores en el territorio venezolano.

#### 4.4.3 Análisis del posicionamiento del dispositivo dentro del mercado

Finalmente se calcula el beneficio que ofrece a la empresa la venta y comercialización de estos dispositivos, para saber el valor real que tendrá en el mercado y comprobar que su precio será realmente atractivo para el consumidor final y genere un beneficio a la empresa.

Los productos que comercializa ISKRATRONICS según los datos suministrados por administración tienen un margen de beneficio de 40%.

$$50.57 * 100 = 5057$$

$$100 - 40 = 60$$

$$\text{Precio final: } \frac{5057}{60} = \$84.28$$

Un precio bastante aceptable en comparación a los equipos que se encuentran en el mercado venezolano como el “osmo mobile 4” que según el portal de ventas

mercado libre Venezuela ronda entre los 250 y 330 dólares.

Finalmente se calcula la razón Beneficio/ Costo para la empresa para la evaluación de su factibilidad como proyecto a gran escala.

**Tabla 15** Razón beneficio/costo del estabilizador para ISKRATRONICS C.A.

| Descripción           | Costo Total (\$) |
|-----------------------|------------------|
| Beneficio Total       | 84.28            |
| Costo Total           | 50.57            |
| Razón Beneficio/Costo | 1.6              |

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

Este valor indica que, por cada dólar invertido por la empresa para la fabricación de los dispositivos, se genera un beneficio de 1.6 veces el valor de su inversión, por lo que se considera factible llevar a cabo el proceso de fabricación a gran escala de estabilizadores de Smartphone. En tal sentido, se puede demostrar que con la puesta en marcha de esta fabricación se obtendría como resultado un dispositivo como un buen posicionamiento dentro del mercado venezolano no solo por su precio sino también por las prestaciones que este otorga a aquellas personas que adquieran el dispositivo.

#### **4.5 Realización del prototipo**

Posterior a la obtención de los componentes electrónicos adquiridos al detal en territorio venezolano y del filamento para la impresión 3D (ABS), se procedió a la fabricación del dispositivo. Se utilizó la impresora **3D-Ender-3 Pro** facilitada por la empresa ISKRATRONICS C.A.

##### ***Características destacables Ender 3 PRO***

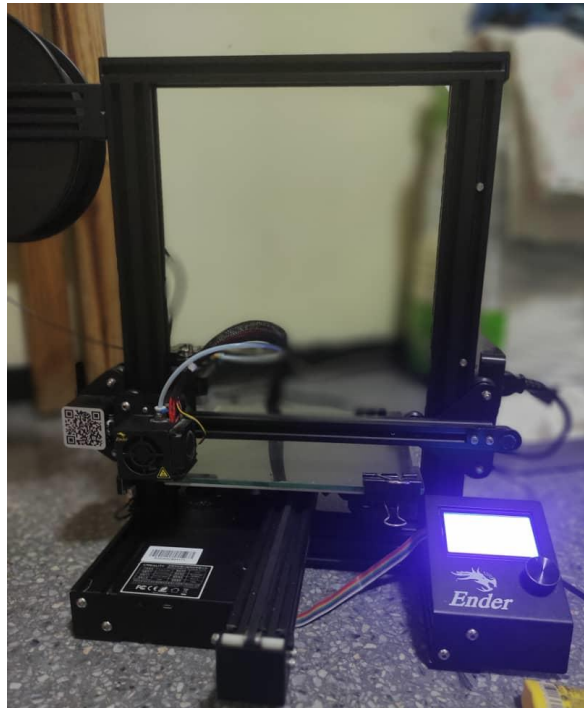
- Impresora 3D Open source (permite cualquier tipo de modificación)
- Filamentos de terceros.
- Materiales: PLA, ABS, PETG, Flexible 95A, composites, etc.

- Es silenciosa.
- Volumen de impresión por encima del estándar.
- Fácil nivelación.
- Extrusor optimizado.
- Suministro de energía de alta calidad y segura.
- Dispone de cama caliente.
- Mejor estabilidad estructural.
- Base magnética de fácil extracción.
- Fuente de alimentación MeanWell.
- La plataforma y el fusor calientan más rápido.

### *Especificaciones técnicas*

- Tipo de extrusión: FDM (Sistema Bowden).
- Volumen de construcción: 220 x 220 x 250 mm.
- Diámetro filamento: 1,75 mm.
- Diámetro boquilla: 0.4 mm.
- Espesor de capa: 0.1 – 0.35 mm.
- Precisión: +/-0.1 mm.
- Temperatura máxima extrusor: 255 °C.
- Temperatura máxima de cama: 110 °C.
- Velocidad máxima de trayecto: 180 mm/s.
- Formatos modelo 3D: STL, OBJ, G-Code
- Conectividad: Tarjeta SD y cable USB.
- Sistemas operativos compatibles: Windows/ Mac/ Linux.
- Chasis: Perfiles V-Slot de aluminio.
- Dimensiones de la impresora 3D: 440 x 410 x 465 mm.
- Peso: 8.6 Kg.

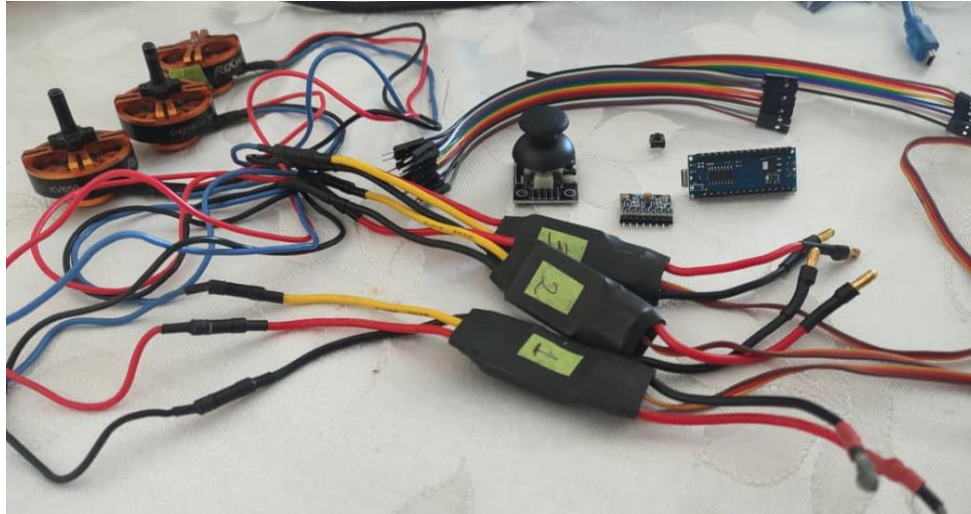
- Peso neto: 10 Kg.
- Embalaje Dimensiones: 600 x 350 x 160 mm.
- Entrada: AC 100-265V 50-60Hz.
- Salida DC 24V 15A 360W.
- Enchufe de la UE.



**Figura 77** Componentes electrónicos

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

Utilizando el software de impresión “ultimaker-cura” uno de los más populares a nivel mundial se procedió a preparar las impresiones comenzando con los eslabones. Paralelo a esto se desarrolló la conexión, calibración y programación del sistema electrónico (ver Figura 78)



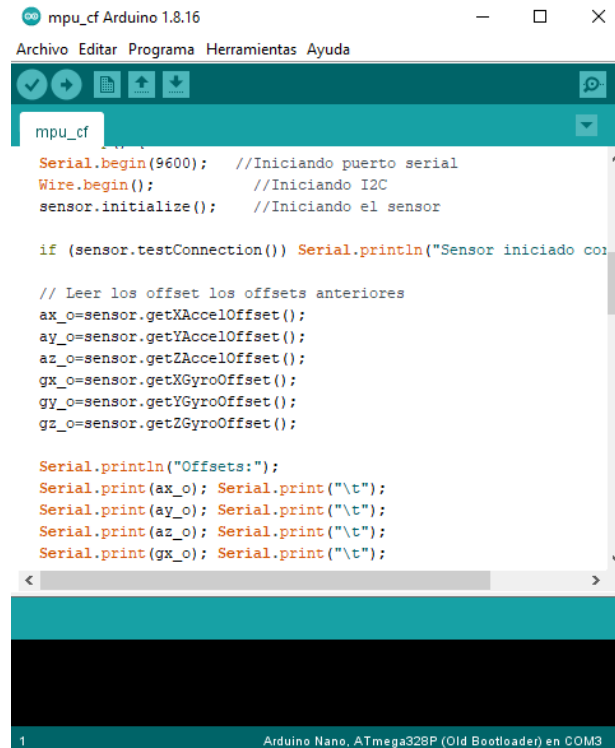
**Figura 78** Componentes electrónicos

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

#### **Calibrar los dispositivos electrónicos:**

- **Calibración del módulo MPU6050:** Estos módulos de medición inercial se calibran mediante la conexión con el Arduino y el Arduino a una computadora, ejecutando a través del software de Arduino un código que arroja como resultado las coordenadas en los ejes (X, Y y Z) tanto del giróscopo como del acelerómetro, este debe ubicarse conectado en una superficie plana, donde se pueda calibrar (0.0.0) en todos los ejes de coordenadas y así determinar la posición de estabilidad absoluta.

En la imagen 79 se puede observar parte del código para calibrar el MPU y en la imagen 80 se visualiza la conexión para la posterior calibración del dispositivo de medición inercial



```
mpu_cf Arduino 1.8.16
Archivo  Editor  Programa  Herramientas  Ayuda
mpu_cf
Serial.begin(9600); //Iniciando puerto serial
Wire.begin(); //Iniciando I2C
sensor.initialize(); //Iniciando el sensor

if (sensor.testConnection()) Serial.println("Sensor iniciado con");

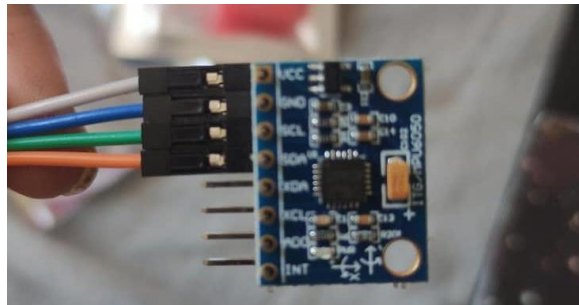
// Leer los offset los offsets anteriores
ax_o=sensor.getXAccelOffset();
ay_o=sensor.getYAccelOffset();
az_o=sensor.getZAccelOffset();
gx_o=sensor.getXGyroOffset();
gy_o=sensor.getYGyroOffset();
gz_o=sensor.getZGyroOffset();

Serial.println("Offsets:");
Serial.print(ax_o); Serial.print("\t");
Serial.print(ay_o); Serial.print("\t");
Serial.print(az_o); Serial.print("\t");
Serial.print(gx_o); Serial.print("\t");
```

1 Arduino Nano, ATmega328P (Old Bootloader) en COM3

**Figura 79** Código de Arduino para calibrar MPU

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)



**Figura 80** Calibración del arduino

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

- **Calibración de los controladores:** Mediante conexión con el arduino se calibran los tres controladores ESC con su respectivo motor brushless para el correcto control. Esta calibración se hace a través del software de arduino y se compila y ejecuta un código que permite no solo verificar la correcta conexión

entre el Arduino los controladores y el motor, sino que funcionen correcta y simultáneamente estos dispositivos.



```
Arduino_Control_Brushless_Motor Arduino 1.8.16
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
Arduino_Control_Brushless_Motor
esc.writeMicroseconds(1000); //Inicializamos la señal a 1000
Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
int val; //Creamos una variable val
val= analogRead(A0); //Leemos la entrada desde el pin A0 y lo alm
val= map(val, 0, 1023,1000,2000); //Mapeamos val a un minimo y ma
esc.writeMicroseconds(val); //Usamos val como la señal para esc
}
29 Arduino Nano, ATmega328P (Old Bootloader) en COM3
```

**Figura 81** Calibración de los controladores ESC

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

El controlador lee del MPU6050, aproximadamente cada 1 ms. Y cada vez que lea establecerá un nuevo movimiento para el motor. Si detecta una rotación en la dirección positiva del eje X, le indicará al motor que controla el eje X que gire hacia atrás. En el algoritmo de control, utilicé el término P y el término D para el giroscopio y solo el término P para la aceleración. El término D no es realmente necesario ya que la detección de la gravedad sirve esencialmente como el término D del giroscopio.

$feedGyroY[2] = feedGyroY[1];$

$feedGyroY[1] = feedGyroY[0];$

$feedAcZ = AcZ*4.0/65536.0*1048.0*7.0/3.14/2;$

```

    feedGyroY[0] =
    (GyroY+453.0)*500.0/65536.0*intervalo*sensormotor/1000000.0*1048.0*7.0/360.0;

```

```

    setpointM1 = -(feedAcZ*0.02+feedGyroY[0]*30+(feedGyroY[0]-
    feedGyroY[1])*70;

```

```

    stepsM1 = (int) setpointM1;

```

```

    if (abs(stepsM1) >= sensormotor) speedM1=1;

```

```

    else speedM1 = sensormotor/abs(stepsM1);

```

Los pasos M1 establecen cuántos pasos necesitará moverse el motor 1. Y la configuración P para GyroY es 30 mientras que D es 70 y el término P para aceleración en Z directivo es 0.02/ La existencia de este término de aceleración intentará mantener el smartphone en posición vertical. La velocidad se elige para que el movimiento sea más suave, recordando que estos motores están diseñados para ir a grandes velocidades

### **PID para configuración de los motores**

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -k(\theta - \theta_{set}) = -k(\theta - P \frac{d\theta}{dt} - D \frac{d^2\theta}{dt^2})$$

**Figura 82** PID

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

En la ecuación, k es la constante elástica del rotador alrededor del estator del motor, y theta es el ángulo del rotador, siendo P el término proporcional de la lectura del sensor, mientras que D es el término diferencial. Con la ecuación, con algunos ajustes en la configuración de PID (P = 30, D = 65), se obtuvo una respuesta bastante rápida y una convergencia suave. Parte clave del código se muestra a continuación.

```

...
void stepM1(int16_t *steps){
  if (*steps > 0){
    stepforwardM1();
    (*steps)--;
  }
  if (*steps < 0){
    stepbackwardM1();
    (*steps)++;
  }
}

int main(void) {
...

  while (1) {
    if (j >= sensormotor) {
      MPU_read(0x3F,&AcZ);
      MPU_read(0x43,&GyroX);
      feedAcZ[3] = feedAcZ[2];
      feedAcZ[2] = feedAcZ[1];

      feedGyroX[3] = feedGyroX[2];
      feedGyroX[2] = feedGyroX[1];

      feedAcZ[1] = AcZ*4.0/65536.0*1048.0*7.0/3.14/2;
      feedGyroX[1] = (GyroX+500)*500.0/65536.0*interval*sensormotor*1048.0*7.0/360.0;
      //seems sensitivity is 500deg*1.3 instead of 500deg
      if ((GyroX > 32760) | (GyroX < -32760)) {
        setpoint = feedAcZ[1]*0.02+GyroX*500.0/65536.0*interval*sensormotor*1048.0*7.0/360.0*30;}
      else {
        setpoint = -feedAcZ[1]*0.1+feedGyroX[1]*30+(feedGyroX[1]-feedGyroX[2])*70;}
      steps = (int) setpoint;
      if (steps >= sensormotor) speed=1;
      else speed = sensormotor/abs(steps);
      printf("%" PRIi16 "\n",GyroX);
      j=0;
    }
    else{
      j++;
    }
    if (j % speed == 0) stepM1(&steps);
    _delay_us(interval);
  }
}

```

**Figura 83** Parte del código.

Fuente: Gutiérrez C. y Rumbo L. (2021)

- **Ensamblaje de las piezas**

Las piezas impresas se ensamblan junto con los dispositivos electrónicos y se le da continuidad al circuito.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

Una vez realizada la impresión de cada una de las piezas del prototipo final y su posterior ensamblaje en conjunto con cada uno de los componentes electrónicos que forman parte de este dispositivo. Se le da continuidad al circuito por el que este está conformado y es colocado en funcionamiento de los resultados obtenidos se presentan las siguientes conclusiones:

- Se presenta un prototipo que cumple con los objetivos planteados al inicio de este trabajo de investigación pues se maneja con holgura en un rango de precios competitivos en el mercado venezolano, con una calidad de estabilización óptima y presentando un soporte de sujeción para el smartphone que genera confianza a los usuarios para colocar sus dispositivos sin temor a que estos puedan desacoplarse del dispositivo. Sin embargo, llevado a la impresión 3D las dimensiones nunca resultan exactas al diseño por lo que el sistema cambia ligeramente, las dimensiones resultan más grotescas que las deseadas.
- Los controladores idóneos para la disposición precisa de los ángulos en los motores brushless pertenecen a una tecnología muy novedosa por lo que dichos componentes que son más ergonómicos y estables no se encuentran en el mercado venezolano. Aferrándonos a las pautas iniciales de este trabajo de investigación no fueron utilizados y en cambio se recurrió a un sistema de control un poco más arcaico también al nivel de conocimiento en electrónica de los tesisistas que resulta un poco limitado para el nivel de conocimiento que se requiere resulta de alto a avanzado.
- Entre los parámetros más significativos a considerar tenemos el peso del dispositivo el cual se encuentra por encima del promedio (700g) esto debido a la adquisición de componentes de manera individual lo que genera la inclusión

de más puertos y cables en el interior del dispositivo y por consiguiente un aumento gradual en el peso del dispositivo, sin embargo esto será solucionado en la fabricación en serie del mismo pues se implementara el desarrollo de tarjetas circuitadas en donde se incluirán todos estos componentes simplificando así la cantidad de puertos y cables dentro del dispositivo y dando como resultado la disminución del peso a valores dentro del promedio.

- El material utilizado resultó muy liviano y resistente, en el uso diario es cómodo al contacto y otorga un aspecto elegante al dispositivo principalmente por su color negro, ideal para dispositivos que se desarrollan en el mundo audiovisual, de este color son la mayoría de accesorios e implementos que se pueden encontrar dentro de la industria cinematográfica.
- Se consideró que gracias a los avances tecnológicos, actualmente, no es necesario emplear técnicas de control avanzadas, pues por ejemplo, antes para asegurar un par constante en un BLDCM había que medir la corriente eléctrica; sin embargo, en la actualidad no es necesario emplear esta técnica, pues los microcontroladores realizan las conmutaciones tan rápido y como se expone en el presente trabajo, el rotor sigue en todo momento al campo eléctrico de las bobinas sin la necesidad de contar con un sensor de corriente.
- Las condiciones para el gimbal podían funcionar de la mejor manera (como lo hacen los profesionales) para los ángulos del pitch y del roll, están dadas, pues los motores podían proporcionar el par necesario, mientras que el sensor y el microcontrolador se consideraron lo suficientemente rápidos para leer la posición angular y ejecutar el algoritmo de control para contrarrestar todas las perturbaciones impuestas por el usuario.

## 5.2 Recomendaciones

- Para el cambio de material se recomienda hacer modificaciones sobre el diseño se recomienda el uso de tolerancias adecuadas tanto en donde encontramos los cierres a presión en el dispositivo como en donde se tiene el contacto entre una pieza y otra, esto para evitar el incorrecto acople del dispositivo o el exceso de rozamiento entre una pieza y otra dando como resultado un movimiento armónico sin interrupciones.
- La incorporación de un motor con mayor par, para la incorporación de otros dispositivos como cámaras le darían un mayor campo de aplicación al dispositivo que con los motores seleccionados en el desarrollo de este trabajo de investigación serán capaces de estabilizarla sin mayores problemas, teniendo entonces un dispositivo capaz de desempeñar ambos roles sin necesitar un cambio de estructura o componentes considerables.
- Implementar dispositivos electrónicos de mayor calidad con la intención de mejorar los controladores principalmente para dar un mejor tiempo de respuesta.
- La batería que se utilizó se escogió debido al costo, pero para ampliar el tiempo de carga se debería utilizar una con un amperaje mayor

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### Fuentes Bibliográficas

Arias, F. (1999). **El proyecto de investigación**, Caracas: Editorial Episteme.

Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación**, Caracas: Editorial Episteme.

Tamayo y Tamayo, Mario (2004). **Proceso de la investigación científica**. México. Limusa.

Zambrano, H. (2006). **Manual de Trabajo de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales**. Caracas. Editorial: UPEL.

### Fuentes Electrónicas

Abellán, Alonso (2019). Que es una Steadicam y como funciona. <https://productoravideomarketing.es/que-es-steadycam>. Consultado el 11 de mayo del 2021.

Buendía, Colás y Hernández (1998). Paradigma de investigación cuantitativo. [http://biblioteca.itson.mx/oa/educacion/oa3/paradigmas\\_investigacion\\_cuantitativa/p7.htm](http://biblioteca.itson.mx/oa/educacion/oa3/paradigmas_investigacion_cuantitativa/p7.htm). Consultado el 20 de mayo de 2021.

Fa De Lucas, Jaime (2017). Tipos de estabilización para cámaras DSLR y mirrorless. <https://www.cpaonline.es/blog/cine-y-tv/tipos-de-estabilizacion-para-camaras-dslr-y-mirrorless/>. Consultado el 12 de mayo de 2021.

Ferreño, Eder (2017). ¿Qué es un gimbal? ¿Para qué sirve? <https://www.profesionalreview.com/2017/10/26/que-es-un-gimbal-para-que-sirve/>. Consultado el 8 de mayo de 2021.

Franco,(2011). Tesis de Investigación. Marco Metodológico. <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/06/marco-metodologico-definicion.html>. Consultado el 20 de mayo.

García, Ángel (2010). Movimiento curvilíneo. Magnitudes cinemáticas. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cinematica/curvilíneo/curvilíneo.htm>. Consultado el 14 de mayo del 2021.

García, Gerard (2006). Motores con imanes permanentes.  
<https://www.monografias.com/trabajos100/motores-iman-permanentes/motores-iman-permanentes.shtml>. Consultado el 15 de mayo de 2021

Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales, 2006  
<http://www.ipm.upel.edu.ve/documentospdf/Reglamentos/Estudiantes/ManualdeTrabajosdeGradodeEspecializacionyMaestriayTesisDoctorales2016.pdf>.

Morles (1994). Población y muestra en una investigación.  
<https://sabermetodologia.wordpress.com/2016/02/15/poblacion-y-muestra/>. Consultado el 20 de mayo de 2021.

Página Web Compra Drones Online, (2017). Que es un gimbal.  
<https://www.comprardrones.online/academia/que-es-un-gimbal/>. Consultado el 11 de mayo de 2021.

Penalva, Javier (2019). Que estabilizador o gimbal para el móvil compro: consejos y modelos recomendados. <https://www.xataka.com/especiales/que-estabilizador-o-gimbal-para-el-movil-compro-consejos-y-modelos-recomendados>. Consultado el 9 de mayo de 2021.

Pérez, Antonio (2018). Coeficiente de Poisson.  
[http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente\\_de\\_Poisson.htm](http://www.mecapedia.uji.es/coeficiente_de_Poisson.htm). Consultado el 16 de mayo del 2021.

Pérez, Antonio (2006). Límite de rotura.  
[http://www.mecapedia.uji.es/limite\\_de\\_rotura.htm](http://www.mecapedia.uji.es/limite_de_rotura.htm). Consultado el 16 de mayo del 2021.

Rodríguez (2013). Guía de Tesis.  
<https://guiadetesis.wordpress.com/2013/08/19/acerca-de-la-investigacion-bibliografica-y-documental/>. Consultado el 10 de julio de 2021

Sanmoran, Chema (2016). Las principales diferencias entre un trípode para foto y una paravideo. <https://www.xatakafoto.com/trucos-y-consejos/las-principales-diferencias-entre-un-tripode-para-foto-y-uno-para-video>. Consultado el 12 de mayo del 2021.

Tofé, Blanco (2015). Diseño de controlador PID para plataforma giroestabilizada.  
<https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/30784/TFG-Tof%C3%A9-Blanco-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y.pdf>. Consultado el 14 de mayo del 2021.

# **ANEXOS**

ENTREVISTA 1: José Linares

| <b>Pregunta</b>   | <b>Respuesta</b>  |
|---|---|
| <b>¿Cuáles son los usos más comunes que en su trabajo le da al dispositivo?</b>                         | Captura de videos mientras visito lugares turísticos  |
| <b>¿Qué es lo que más le gusta de su dispositivo?</b>   | La estabilidad que me otorga durante la grabación   |
| <b>¿Qué aspecto/s le gustaría mejorar de su dispositivo?</b>  | Quisiera que el dispositivo también me pudiera servir de trípode (sin ningún tipo de movilidad) en algunos casos. |
| <b>¿Durante su uso ha notado alguna falla en su funcionamiento?</b>                                     | Si  |
| <b>¿Qué nivel de confiabilidad le genera fijar sus dispositivos de grabación en estos instrumentos?</b> | 7/10  |
| <b>¿Le resulta fácil guardarlo y transportarlo a los distintos lugares de grabación?</b>                | Es un poco complicado, debo cargar conmigo siempre un bolso lo suficientemente grande para llevarlo.              |
| <b>¿El peso que tiene le parece adecuado?</b>   | Es aceptable  |
| <b>¿Le genera cansancio el uso del dispositivo después de largos periodos de grabación?</b>             | si  |
| <b>¿Los resultados de las grabaciones realizadas con su dispositivo actual son las esperadas?</b>       | Si, en algunos casos  |
| <b>¿Durante el uso cotidiano la autonomía de la batería es adecuada?</b>                                | No, se agota rápidamente. Debo tener siempre conmigo accesorios de carga portátil.                                |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>¿Qué tan cómodo es el agarre durante su uso?</b>  | 7/10      |
| <b>¿Después de largos periodos de uso la adherencia de su mano con el mango del dispositivo sigue siendo correcta?</b> | No        |
| <b>¿Qué tan bien se adapta tu dispositivo a los cambios de orientación durante los periodos de grabación?</b>          | Excelente |

ENTREVISTA 2: Víctor López

| <b>Pregunta</b>   | <b>Respuesta</b>   |
|---|--|
| <b>¿Cuáles son los usos más comunes que en su trabajo le da al dispositivo?</b>                         | Filmar cortometrajes   |
| <b>¿Qué es lo que más le gusta de su dispositivo?</b>   | La duración de su batería  |
| <b>¿Qué aspecto/s le gustaría mejorar de su dispositivo?</b>  | La comodidad que otorga al llevarlo con una sola mano  |
| <b>¿Durante su uso ha notado alguna falla en su funcionamiento?</b>                                     | Si   |
| <b>¿Qué nivel de confiabilidad le genera fijar sus dispositivos de grabación en estos instrumentos?</b> | 6/10   |
| <b>¿Le resulta fácil guardarlo y transportarlo a los distintos lugares de grabación?</b>                | Por su tamaño en algunos casos resulta complicado, ya que entre tantas herramientas el espacio es escaso |
| <b>¿El peso que tiene le parece adecuado?</b>   | Puede mejorar  |

|  |  |
|--|--|
| <b>¿Le genera cansancio el uso del dispositivo después de largos periodos de grabación?</b>                            | Solo en algunos casos pues, generalmente no manejo periodos de grabación tan largos. |
| <b>¿Los resultados de las grabaciones realizadas con su dispositivo actual son las esperadas?</b>                      | Si   |
| <b>¿Durante el uso cotidiano la autonomía de la batería es adecuada?</b>   | Si   |
| <b>¿Qué tan cómodo es el agarre durante su uso?</b>  | 5/10   |
| <b>¿Después de largos periodos de uso la adherencia de su mano con el mango del dispositivo sigue siendo correcta?</b> | No   |
| <b>¿Qué tan bien se adapta tu dispositivo a los cambios de orientación durante los periodos de grabación?</b>          | Su desempeño en estos casos es aceptable.  |

Entrevista 3: Jairo Hernandez

| <b>Pregunta</b>   | <b>Respuesta</b>  |
|---|---|
| <b>¿Cuáles son los usos más comunes que en su trabajo le da al dispositivo?</b> | Grabación de películas y cortometrajes  |
| <b>¿Qué es lo que más le gusta de su dispositivo?</b>                           | La comodidad que me otorga durante su uso.  |
| <b>¿Qué aspecto/s le gustaría mejorar de su dispositivo?</b>                    | Mejorar el agarre que tiene con los dispositivos de grabación, ya que no genera confianza al 100% |

|  |  |
|--|--|
| <b>¿Durante su uso ha notado alguna falla en su funcionamiento?</b>  | Si   |
| <b>¿Qué nivel de confiabilidad le genera fijar sus dispositivos de grabación en estos instrumentos?</b>                | 4/10   |
| <b>¿Le resulta fácil guardarlo y transportarlo a los distintos lugares de grabación?</b>                               | Si, lo guardo en su estuche que lo protege de una manera muy eficiente.  |
| <b>¿El peso que tiene le parece adecuado?</b>  | Si   |
| <b>¿Le genera cansancio el uso del dispositivo después de largos periodos de grabación?</b>                            | No   |
| <b>¿Los resultados de las grabaciones realizadas con su dispositivo actual son las esperadas?</b>                      | En algunos casos me parece que el desempeño podría ser mejor   |
| <b>¿Durante el uso cotidiano la autonomía de la batería es adecuada?</b>   | La duración está dentro del promedio para este tipo de dispositivos, para el uso que yo le doy no es la más adecuada |
| <b>¿Qué tan cómodo es el agarre durante su uso?</b>  | 10/10  |
| <b>¿Después de largos periodos de uso la adherencia de su mano con el mango del dispositivo sigue siendo correcta?</b> | En lugares con mucho calor, esto suele ser un problema recurrente.   |
| <b>¿Qué tan bien se adapta tu dispositivo a los cambios de orientación durante los periodos de grabación?</b>          | A veces tiene ciertos baches en los cambios de orientación muy bruscos   |

Entrevista 4: María Suarez

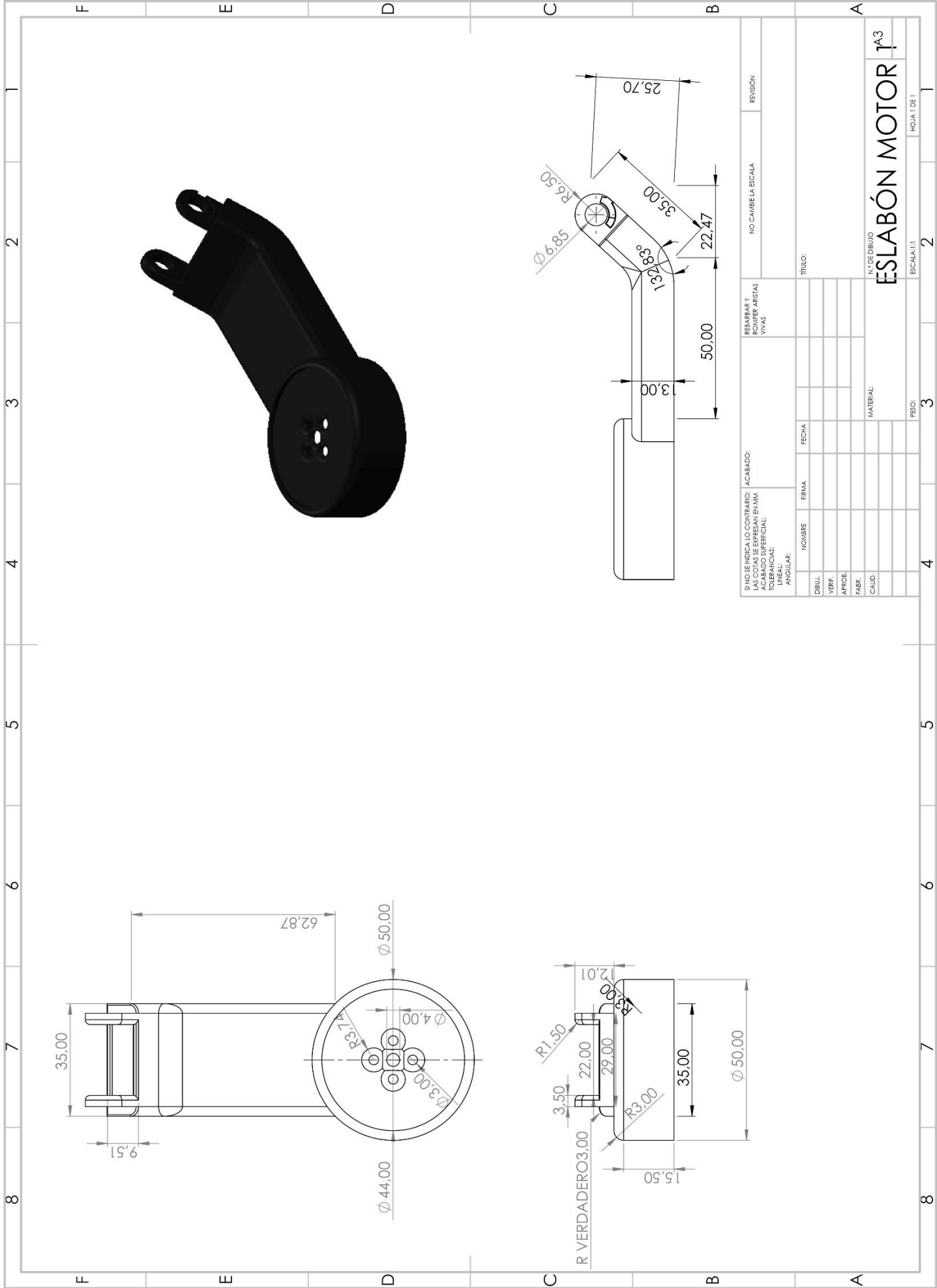
| <b>Pregunta</b>   | <b>Respuesta</b>   |
|---|--|
| <b>¿Cuáles son los usos más comunes que en su trabajo le da al dispositivo?</b>                         | Grabación de competencias de Ciclismo.   |
| <b>¿Qué es lo que más le gusta de su dispositivo?</b>   | La estabilidad que me otorga mientras grabo en movimiento                                |
| <b>¿Qué aspecto/s le gustaría mejorar de su dispositivo?</b>  | El funcionamiento de sus botones, debido a que las respuestas de esto no son inmediatas. |
| <b>¿Durante su uso ha notado alguna falla en su funcionamiento?</b>                                     | no   |
| <b>¿Qué nivel de confiabilidad le genera fijar sus dispositivos de grabación en estos instrumentos?</b> | 8/10   |
| <b>¿Le resulta fácil guardarlo y transportarlo a los distintos lugares de grabación?</b>                | No, esto debido a que sus dimensiones hacen que el estuche del mismo sea grande          |
| <b>¿El peso que tiene le parece adecuado?</b>   | Es aceptable   |
| <b>¿Le genera cansancio el uso del dispositivo después de largos periodos de grabación?</b>             | No   |
| <b>¿Los resultados de las grabaciones realizadas con su dispositivo actual son las esperadas?</b>       | Si   |

|  |   |
|--|---|
| <b>¿Durante el uso cotidiano la autonomía de la batería es adecuada?</b>   | No, los periodos de grabación son largos y son pocos los casos en los que los cumple sin necesitar la carga portátil. |
| <b>¿Qué tan cómodo es el agarre durante su uso?</b>  | 9/10  |
| <b>¿Después de largos periodos de uso la adherencia de su mano con el mango del dispositivo sigue siendo correcta?</b> | Si  |
| <b>¿Qué tan bien se adapta tu dispositivo a los cambios de orientación durante los periodos de grabación?</b>          | Generalmente bien, pero pudiera ser mejor si los tiempos de respuestas fueran más cortos.                             |

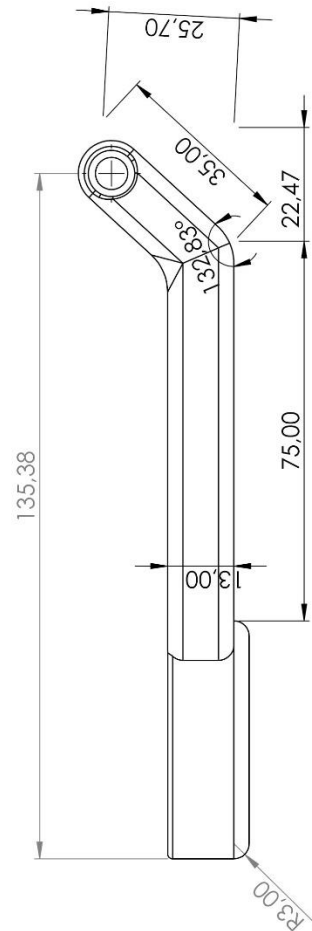
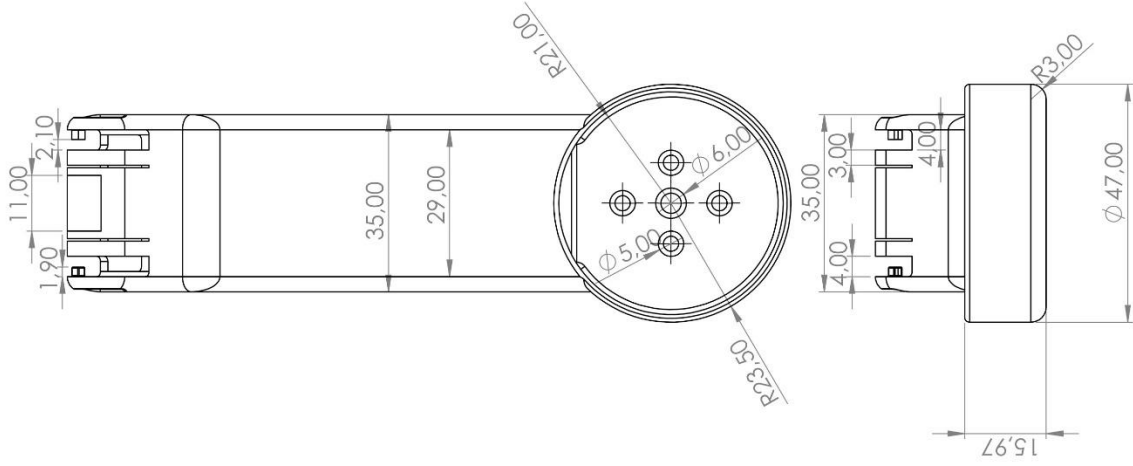
Entrevista 5: Eunice García

| <b>Pregunta</b>   | <b>Respuesta</b>   |
|---|--|
| <b>¿Cuáles son los usos más comunes que en su trabajo le da al dispositivo?</b>                         | Grabación de diversos eventos musicales en todo el país                  |
| <b>¿Qué es lo que más le gusta de su dispositivo?</b>   | La facilidad de su uso   |
| <b>¿Qué aspecto/s le gustaría mejorar de su dispositivo?</b>  | Me gustaría que estuviera fabricado con un material mucho más resistente |
| <b>¿Durante su uso ha notado alguna falla en su funcionamiento?</b>                                     | no   |
| <b>¿Qué nivel de confiabilidad le genera fijar sus dispositivos de grabación en estos instrumentos?</b> | 10/10  |
| <b>¿Le resulta fácil guardarlo y transportarlo a los</b>  | No me genera incomodidad pues siempre ando en mi                         |

|  |   |
|--|---|
| <b>distintos lugares de grabación?</b>   | vehículo y dispongo de mucho espacio para llevarlo.   |
| <b>¿El peso que tiene le parece adecuado?</b>  | Si  |
| <b>¿Le genera cansancio el uso del dispositivo después de largos periodos de grabación?</b>                            | No  |
| <b>¿Los resultados de las grabaciones realizadas con su dispositivo actual son las esperadas?</b>                      | Si  |
| <b>¿Durante el uso cotidiano la autonomía de la batería es adecuada?</b>   | Si, supera los periodos de grabación sin problemas  |
| <b>¿Qué tan cómodo es el agarre durante su uso?</b>  | 7/10  |
| <b>¿Después de largos periodos de uso la adherencia de su mano con el mango del dispositivo sigue siendo correcta?</b> | Si, esto debido a que cuento con una funda para el mango que me da una buena adherencia aun después de largos periodos de uso |
| <b>¿Qué tan bien se adapta tu dispositivo a los cambios de orientación durante los periodos de grabación?</b>          | Regular   |



|  |  |          |  |                                      |  |                      |  |               |  |
|--|--|----------|--|--------------------------------------|--|----------------------|--|---------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:<br>LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM |  | ACABADO: |  | REPARAR Y<br>ROMPER ARISTAS<br>VIVAS |  | NO CAMBIAR LA ESCALA |  | REVISIÓN      |  |
| TOLERANCIAS:   |  | LINEAL:  |  | ANGULAR:                             |  | TÍTULO:              |  | N.º DE DIBUJO |  |
| NOMBRE   |  | FECHA    |  | MATERIAL:                            |  | ESCALA: 1:1          |  | HOJA 1 DE 1   |  |
| DIBUJ.   |  | FABR.    |  | CAUD.                                |  | PESO:                |  | 2             |  |
| VERIF.   |  | AFRICE.  |  | MATERIAL:                            |  | ESLABÓN MOTOR        |  | 1             |  |



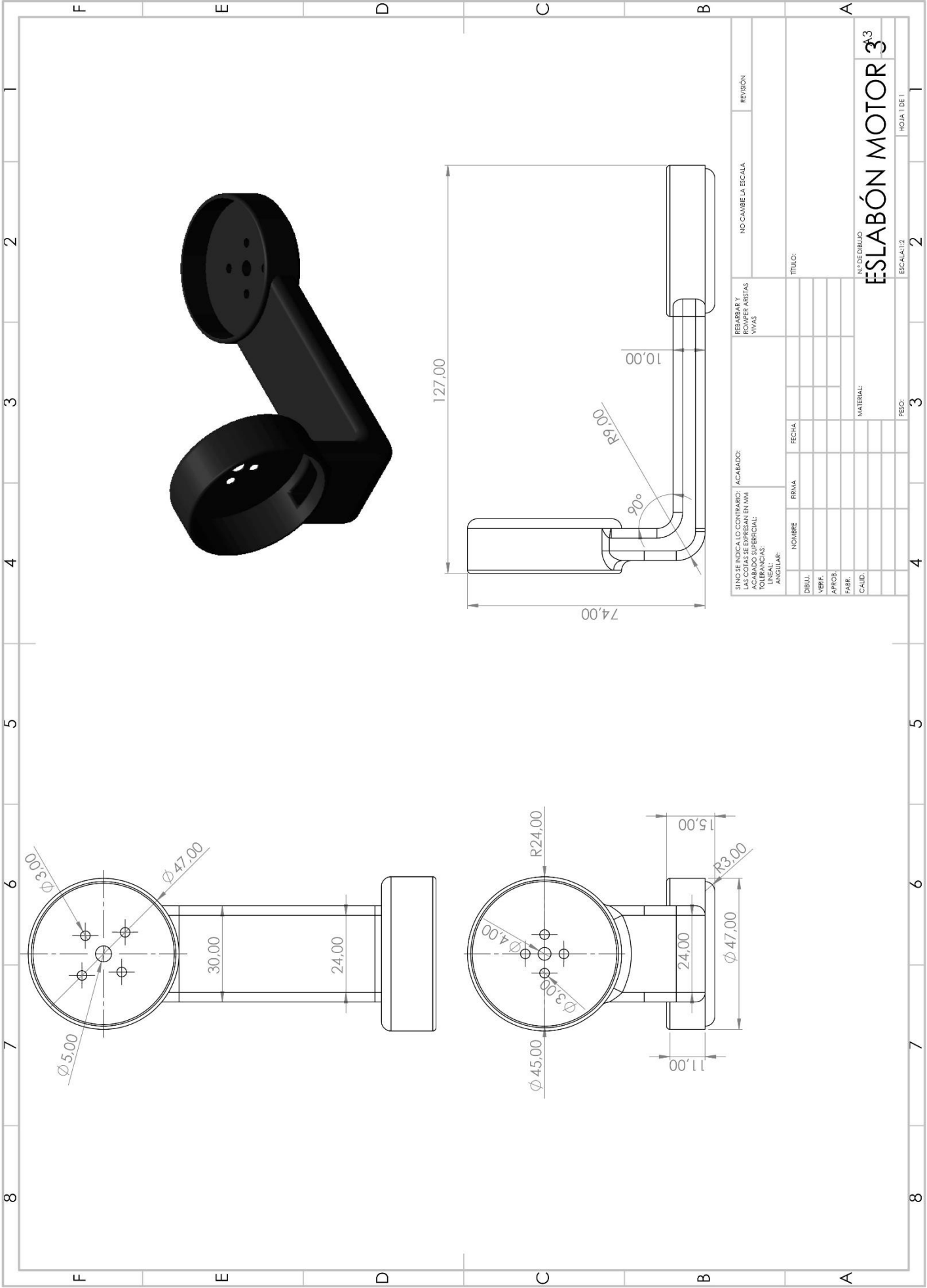
|   |        |  |         |                     |               |          |                              |
|---|--------|--|---------|---------------------|---------------|----------|------------------------------|
| SINO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO:<br>LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM.<br>UNIDAD DECIMAL:<br>TOLERANCIAS:<br>LINEAL:<br>ANGULAR: |        | REBARBAR Y<br>ROMPER ARGILLAS<br>VITAS |         | NO CAMBIE LA ESCALA |               | REVISION |                              |
| DIBUJ.  | NOMBRE | FECHA                                  | TITULO: |                     | N.º DE DIBUJO |          | ESLABÓN MOTOR 2 <sup>3</sup> |
| VERIF.  | FRMA   |  |         |                     | ESCALA: 1:2   |          |                              |
| APROB.  |        |  |         |                     | HOJA 1 DE 1   |          |                              |
| FABR.   |        |  |         |                     | PESO: 3       |          |                              |
| CALD.   |        |  |         |                     | MATERIAL:     |          |                              |

ESLABÓN MOTOR 2<sup>3</sup>

ESCALA: 1:2

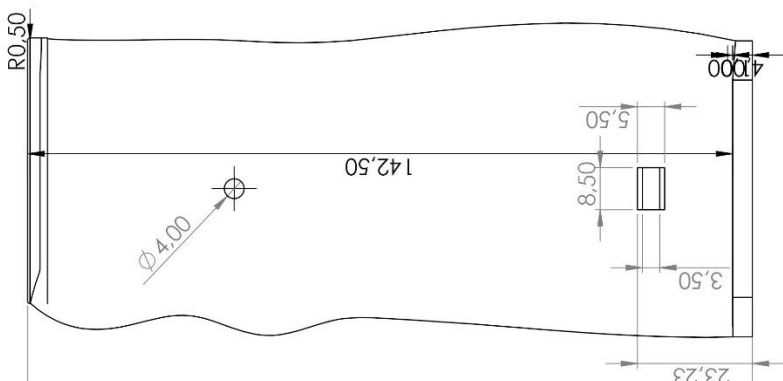
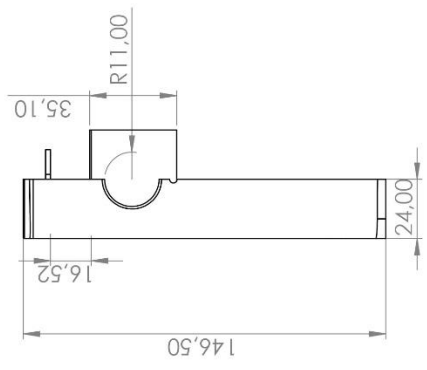
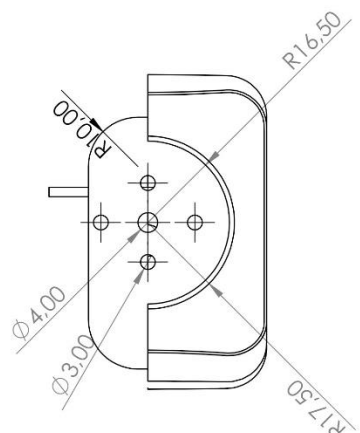
HOJA 1 DE 1

PESO: 3



|   |       |                     |                               |          |             |
|---|-------|---------------------|-------------------------------|----------|-------------|
| REBARBAR Y ROMPER ARTISTAS VIVAS  |       | NO CAMBIE LA ESCALA |                               | REVISIÓN |             |
| SINO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: LINEAL: ANGULAR: |       | ACABADO:            |                               | REVISIÓN |             |
| NOBRE   | FIRMA | FECHA               | TÍTULO:                       |          |             |
| DBUJ.   |       |                     |                               |          |             |
| VERIF.  |       |                     |                               |          |             |
| APROB.  |       |                     |                               |          |             |
| FABR.   |       |                     |                               |          |             |
| CALID.  |       |                     |                               |          |             |
| MATERIAL:   |       |                     | N.º DE BIELLO                 |          |             |
|   |       |                     | ESLABÓN MOTOR 3 <sup>A3</sup> |          |             |
| FECO:   |       |                     | ESCALA: 1:2                   |          | HOJA 1 DE 1 |
| 4   |       |                     | 3                             |          | 2           |

F E D C B A



|  |                          |                                       |  |                     |  |             |  |
|--|--------------------------|---------------------------------------|--|---------------------|--|-------------|--|
| SIN SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO:<br>LAS COTAS SE EMPREAN EN MM<br>ACABADO SUPERFICIAL:<br>TOLERANCIAS:<br>ANGULAR: |                          | REPARAR Y<br>ROMPER A BISTAS<br>VIVAS |  | NO CAMBIA LA ESCALA |  | REVISIÓN    |  |
| DBUJ:<br>VERIF:<br>APTOS:<br>FABR:<br>CAUD:  | NOMBRE<br>PRIMA<br>FECHA | TÍTULO:                               |  | N.º DE DIBUJO<br>A3 |  | ESCALA: 1:2 |  |
| MATERIAL:  |                          | FEBO:                                 |  | HOJA 1 DE 1         |  | 2           |  |

Mango A

A3

ESCALA: 1:2

2

3

4

5

6

7

2

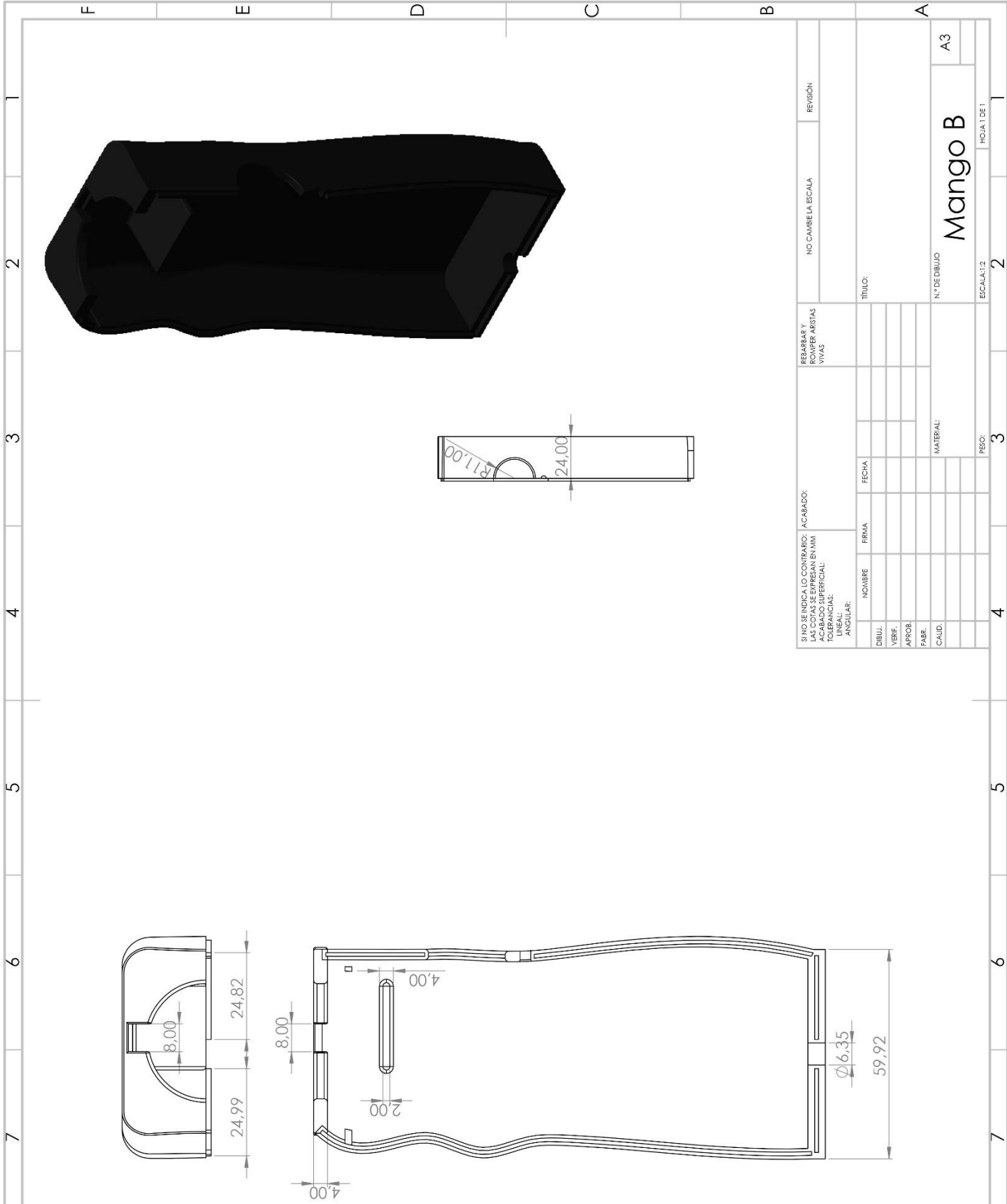
3

4

5

6

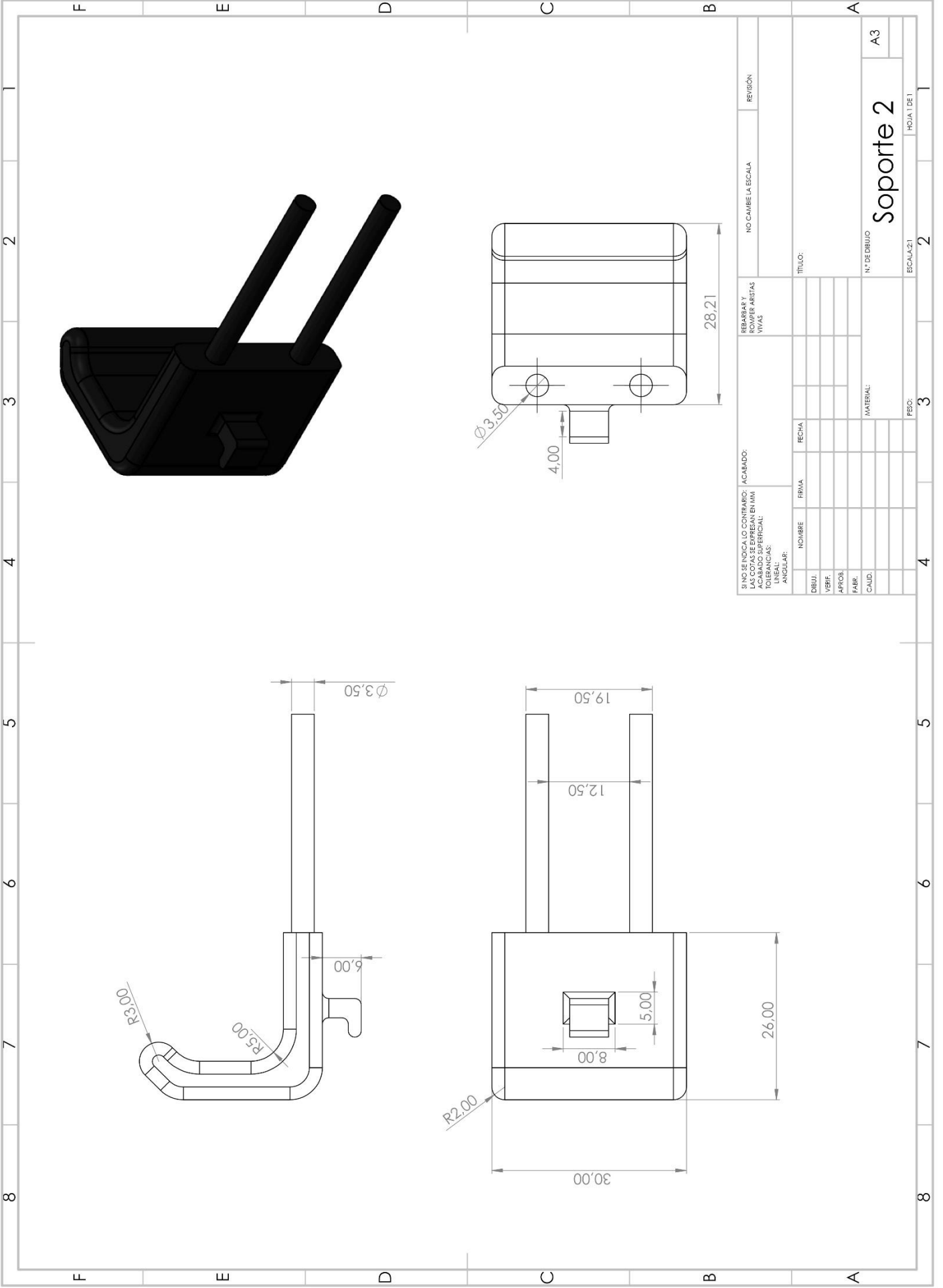
7



|   |      |                                       |                     |          |
|---|------|---------------------------------------|---------------------|----------|
| SINO SE INDICAO CONTRARIO: ACABADO:<br>LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM.<br>ACABADO SUPERFICIAL:<br>TOLERANCIAS:<br>ANGULARES: |      | REBARBAR Y<br>ROMPER ARISTAS<br>VIVAS | NO CAMBIA LA ESCALA | REVISIÓN |
| NOBRES  | FRMA | FECHA                                 | TÍTULO:             |          |
| DIBUJ.  |      |                                       |                     |          |
| VERIF.  |      |                                       |                     |          |
| APROB.  |      |                                       |                     |          |
| FABR.   |      |                                       | N.º DE DIBUJO       |          |
| CAUD.   |      |                                       | MATERIAL:           |          |
|   |      |                                       | Escala: 1:2         |          |
|   |      |                                       | PESO:               |          |
|   |      |                                       | HOJA 1 DE 1         |          |

Mango B A3

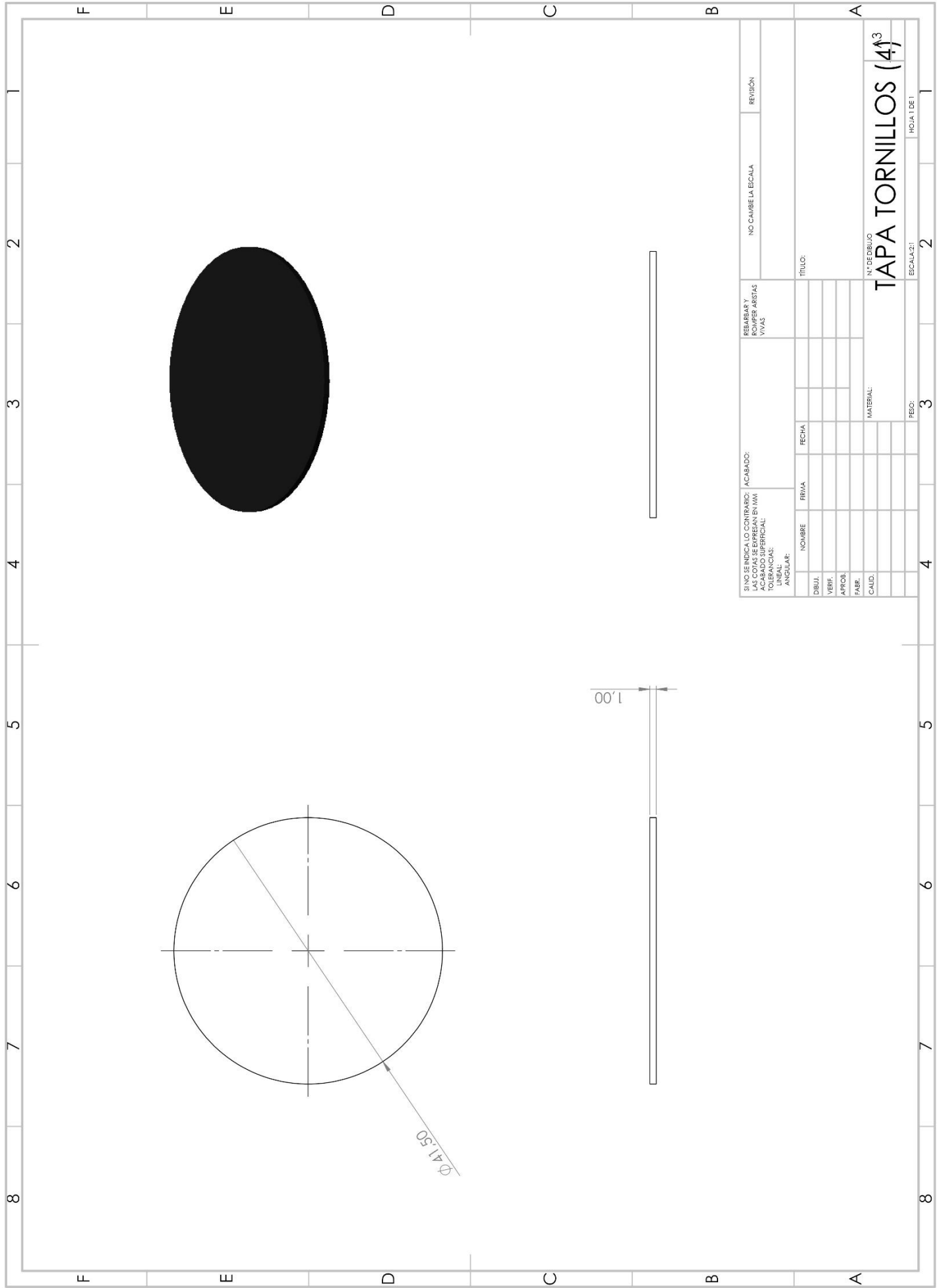




|   |  |                     |  |               |  |
|---|--|---------------------|--|---------------|--|
| REVISIÓN  |  | NO CAMBIE LA ESCALA |  | REVISIÓN      |  |
| REPARAR Y<br>ROMPER A RISTAS<br>VIVAS                       |  |                     |  |               |  |
| SIN INDICACIONES CONTRARIAS:<br>LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM |  | ACABADO:            |  | TÍTULO:       |  |
| TOLERANCIAS:<br>ANGULAR:                                    |  |                     |  |               |  |
| NOMBRE  |  | FIRMA               |  | FECHA         |  |
| DIBUJ.  |  | VERIF.              |  | APROS.        |  |
| FABR.   |  | CALID.              |  | MATERIAL:     |  |
|   |  |                     |  | N.º DE DIBUJO |  |
|   |  |                     |  | ESCALA: 2:1   |  |
|   |  |                     |  | FECHA:        |  |
|   |  |                     |  | HOJA 1 DE 1   |  |
|   |  |                     |  | 2             |  |
|   |  |                     |  | 3             |  |
|   |  |                     |  | 4             |  |
|   |  |                     |  | 5             |  |
|   |  |                     |  | 6             |  |
|   |  |                     |  | 7             |  |
|   |  |                     |  | 8             |  |
|   |  |                     |  | A             |  |
|   |  |                     |  | B             |  |
|   |  |                     |  | C             |  |
|   |  |                     |  | D             |  |
|   |  |                     |  | E             |  |
|   |  |                     |  | F             |  |

# Soporte 2

A3



|   |  |                                      |  |                     |  |                |  |
|---|--|--------------------------------------|--|---------------------|--|----------------|--|
| SINO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO: <input type="checkbox"/> ACABADO EN MATA <input type="checkbox"/> ACABADO SUPERFICIAL: <input type="checkbox"/> |  | REBARBAR Y REBARBAR EN PERAS Y VIVAS |  | NO CAMBIA LA ESCALA |  | REVISIÓN       |  |
| TOLERANCIAS: LINEAL: <input type="checkbox"/> ANGULAR: <input type="checkbox"/>   |  |                                      |  |                     |  |                |  |
| NOMBRE  |  | FIRMA                                |  | FECHA               |  | TÍTULO:        |  |
| DIBUJ.  |  | VERIF.                               |  | APROB.              |  | MATERIAL:      |  |
| FABR.   |  | CALD.                                |  | FECC:               |  | Escala: 1 DE 1 |  |
|   |  |                                      |  |                     |  | 2              |  |
|   |  |                                      |  |                     |  | 3              |  |
|   |  |                                      |  |                     |  | 4              |  |
|   |  |                                      |  |                     |  | 5              |  |
|   |  |                                      |  |                     |  | 6              |  |
|   |  |                                      |  |                     |  | 7              |  |
|   |  |                                      |  |                     |  | 8              |  |

NT DE DIBUJO  
**TAPA TORNILLOS (4)<sup>3</sup>**

```

#define F_CPU 20000000
#define BAUD 9600
#define BRC ((F_CPU/16/BAUD)-1)
#define MPU6050 0x68
#define interval 10
#define sensormotor 100

#include <avr/io.h>
#include <stdio.h> // for serial
#include <avr/interrupt.h>
#include <util/delay.h>
#include <util/setbaud.h>
#include <util/twi.h>
#include <inttypes.h> // for printf uint16_t
#include <avr/pgmspace.h>

void uart_init(void){
    UBRROL = BRC;
    UBRROH = (BRC >> 8); //Baud rate setting
    UCSROB |= (1 << RXEN0) | (1 << TXEN0); //RxTx enable
    UCSROC = (1 << UCSZ01) | (1 << UCSZ00); //8bit char
}

void uart_setchar(char c) {
    loop_until_bit_is_set(UCSR0A, UDRE0); /* Wait until data
register empty. */
    UDR0 = c;
}

char uart_getchar(void) {
    loop_until_bit_is_set(UCSR0A, RXC0); /* Wait until data exists.
*/
    return UDR0;
}

int usart_putchar_printf(char var, FILE *stream) {
    //if (var == '\n') usart_putchar('\r');
    uart_setchar(var);
    return 0;
}

static FILE mystdout = FDEV_SETUP_STREAM(usart_putchar_printf, NULL,
_FDEV_SETUP_WRITE); //define stream

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

void I2C_init(void){
    //TWSR = 0x00;
    TWBR = 0x5C; // TWI clock 100kHz, SCL frequency = F_CPU/(16 +
2(TWBR)*(TWSR prescale))
    TWCR = (1 << TWEN);
}

```

```

        //address 1101000
    }

void I2C_start(void){
    TWCR = (1 << TWEN) | (1 << TWINT) |(1 << TWSTA); //twi
enable/clear int flag/start (master)
    while ((TWCR & (1<<TWINT)) == 0); //? wait for TWINT to be 1?
    //if ((TWSR & 0xF8) != TW_START) return -1; //comfire start
condition has been transmitted
}

void I2C_stop(void){
    TWCR = (1 << TWEN) | (1 << TWINT) |(1 << TWSTO);
}

void I2C_write(uint8_t data){
    TWDR = data;
    TWCR = (1 << TWINT) | (1 << TWEN);
    while ((TWCR & (1<<TWINT)) == 0); //? wait for TWINT to be 1
    //if ((TWSR & 0xF8) != TW_MT_SLA_ACK) return -1; //comfire
start condition has been transmitted
}

uint8_t I2C_readACK(){
    TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWEN)|(1<<TWEA); //with acknowledge
    while ((TWCR & (1<<TWINT)) == 0);
    return TWDR;
}

uint8_t I2C_readNACK(){
    TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWEN); //without acknowledge
    while ((TWCR & (1<<TWINT)) == 0);
    return TWDR;
}

uint8_t I2C_status(void)
{
    uint8_t status;
    //mask status
    status = TWSR & 0xF8;
    return status;
}

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

uint8_t MPU_init(){
    I2C_init();
    I2C_start();
    if (I2C_status() != TW_START) return -1;
    I2C_write((MPU6050 << 1) | TW_WRITE); //TW_WRITE = 0
defined in twi.h

```

```

        if (I2C_status() != TW_MT_SLA_ACK) return -1;
        I2C_write(0x6B); //PWR_MGMT_1 address
        if (I2C_status() != TW_MT_DATA_ACK) return -1;
        I2C_write(0); //set PWR_MGMT_1 to 0
        if (I2C_status() != TW_MT_DATA_ACK) return -1;
        I2C_stop();
        _delay_us(10); //allow time for stop to be sent
        return 0;
    }

uint8_t MPU_write(uint8_t u8addr, uint8_t u8data){
    I2C_init();
    I2C_start();
    if (I2C_status() != TW_START) return -1;
    I2C_write(((MPU6050 << 1) | TW_WRITE)); //TW_WRITE = 0
defined in twi.h
    if (I2C_status() != TW_MT_SLA_ACK) return -1;
    I2C_write(u8addr); //set address
    if (I2C_status() != TW_MT_DATA_ACK) return -1;
    I2C_write(u8data); //set value
    if (I2C_status() != TW_MT_DATA_ACK) return -1;
    I2C_stop();
    _delay_us(10); //allow time for stop to be sent
    return 0;
}

uint8_t MPU_read(uint8_t u8addr, uint16_t *u16data){
    I2C_start();
    if (I2C_status() != TW_START) return -1;
    I2C_write(((MPU6050 << 1) | TW_WRITE)); //TW_WRITE = 0
defined in twi.h
    if (I2C_status() != TW_MT_SLA_ACK) return -1;
    I2C_write(u8addr); //send reading address of MPU-6050
    if (I2C_status() != TW_MT_DATA_ACK) return -1;
    I2C_stop();
    _delay_us(10); //wait for data

    I2C_start();
    if (I2C_status() != TW_START) return -1;
    I2C_write(((MPU6050 << 1) | TW_READ)); //ask to read
    if (I2C_status() != TW_MR_SLA_ACK) return -1;

    *u16data = I2C_readACK() << 8; //significant 8 bits with
acknowledge
    *u16data |= I2C_readNACK(); //no ACK after the last bytes.
    I2C_stop();
    _delay_us(10); //wait for data
    return 0;
}

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

```

```

//sinosoidal wave
/* const uint8_t M1[3][1024] PROGMEM = {
    {127,128,129,129,130,131,132,132,133,134,135,135,136,137,138,
138,139,140,141,142,142,143,144,145,145,146,147,148,148,149,150,151,
151,152,153,154,154,155,156,157,157,158,159,160,160,161,162,163,163,
164,165,165,166,167,168,168,169,170,171,171,172,173,173,174,175,176,
176,177,178,178,179,180,180,181,182,183,183,184,185,185,186,187,187,
188,189,189,190,191,191,192,193,193,194,195,195,196,196,197,198,198,
199,200,200,201,201,202,203,203,204,205,205,206,206,207,207,208,209,
209,210,210,211,212,212,213,213,214,214,215,215,216,216,217,218,218,
219,219,220,220,221,221,222,222,223,223,224,224,225,225,226,226,226,
227,227,228,228,229,229,230,230,231,231,231,232,232,233,233,233,234,
234,235,235,235,236,236,237,237,237,238,238,238,239,239,239,240,240,
240,241,241,241,242,242,242,242,243,243,243,244,244,244,244,245,245,
245,245,246,246,246,246,247,247,247,247,247,248,248,248,248,248,249,
249,249,249,249,250,250,250,250,250,250,250,251,251,251,251,251,
251,251,251,251,251,251,252,252,252,252,252,252,252,252,252,252,
252,252,252,252,252,252,252,252,252,252,252,252,252,252,252,252,
252,251,251,251,251,251,251,251,251,251,251,251,250,250,250,250,
250,250,249,249,249,249,249,249,249,248,248,248,248,248,247,247,247,247,
247,246,246,246,246,246,245,245,245,245,244,244,244,244,244,243,243,243,242,
242,242,242,241,241,241,240,240,240,239,239,239,238,238,238,237,237,
237,236,236,235,235,235,234,234,233,233,233,232,232,231,231,231,230,
230,229,229,228,228,227,227,226,226,226,225,225,224,224,223,223,222,
222,221,221,220,220,219,219,218,218,217,216,216,215,215,214,214,213,
213,212,212,211,210,210,209,209,208,207,207,206,206,205,205,204,203,
203,202,201,201,200,200,199,198,198,197,196,196,195,195,194,193,193,
192,191,191,190,189,189,188,187,187,186,185,185,184,183,183,182,181,
180,180,179,178,178,177,176,176,175,174,173,173,172,171,171,170,169,
168,168,167,166,165,165,164,163,163,162,161,160,160,159,158,157,157,
156,155,154,154,153,152,151,151,150,149,148,148,147,146,145,145,144,
143,142,142,141,140,139,138,138,137,136,135,135,134,133,132,132,131,
130,129,129,128,127,126,125,125,124,123,122,122,121,120,119,119,118,
117,116,116,115,114,113,112,112,111,110,109,109,108,107,106,106,105,
104,103,103,102,101,100,100,99,98,97,97,96,95,94,94,93,92,91,91,90,8
9,89,88,87,86,86,85,84,83,83,82,81,81,80,79,78,78,77,76,76,75,74,74,
73,72,71,71,70,69,69,68,67,67,66,65,65,64,63,63,62,61,61,60,59,59,58
,58,57,56,56,55,54,54,53,53,52,51,51,50,49,49,48,48,47,47,46,45,45,4
4,44,43,42,42,41,41,40,40,39,39,38,38,37,36,36,35,35,34,34,33,33,32,
32,31,31,30,30,29,29,28,28,28,27,27,26,26,25,25,24,24,23,23,23,22,22
,21,21,21,20,20,19,19,19,18,18,17,17,17,16,16,16,15,15,15,14,14,14,1
3,13,13,12,12,12,12,11,11,11,10,10,10,10,9,9,9,9,8,8,8,8,7,7,7,7,7,6
,6,6,6,6,5,5,5,5,5,5,4,4,4,4,4,4,4,3,3,3,3,3,3,3,3,3,3,2,2,2,2,2,2
,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,3,3,3,3,3,3,3,3,3,3,3
,4,4,4,4,4,4,4,5,5,5,5,5,5,6,6,6,6,6,6,7,7,7,7,7,7,8,8,8,8,9,9,9,9,10,10
,10,10,11,11,11,12,12,12,12,13,13,13,14,14,14,15,15,15,16,16,16,17,1
7,17,18,18,19,19,19,20,20,21,21,21,22,22,23,23,23,24,24,25,25,26,26,
27,27,28,28,28,29,29,30,30,31,31,32,32,33,33,34,34,35,35,36,36,37,38
,38,39,39,40,40,41,41,42,42,43,44,44,45,45,46,47,47,48,48,49,49,50,5
1,51,52,53,53,54,54,55,56,56,57,58,58,59,59,60,61,61,62,63,63,64,65,
65,66,67,67,68,69,69,70,71,71,72,73,74,74,75,76,76,77,78,78,79,80,81
,81,82,83,83,84,85,86,86,87,88,89,89,90,91,91,92,93,94,94,95,96,97,9

```











```

78,77,77,76,76,76,75,75,75,74,74,74,73,73,73,72,72,72,71,71,71,70,70
,70,69,69,69,68,68,68,67,67,67,67,66,66,66,65,65,65,64,64,64,63,63,6
2,62,62,61,61,61,60,60,59,59,59,58,58,57,57,57,56,56,56,55,55,54,54,
53,53,53,52,52,51,51,51,50,50,50,49,49,49,48,48,48,47,47,46,46,45,45
,45,44,44,44,43,43,42,42,41,41,41,40,40,40,39,39,38,38,37,37,37,36,3
6,35,35,35,34,34,33,33,33,32,32,31,31,30,30,29,28,28,26,22},
};

static uint16_t i = 0;

uint16_t stepforwardM1(){
    if (i == 1023) {
        i = 0;
        //PORTC ^= (1 << PC1);
    }
    else{
        i++;
    }
    OCR1A = pgm_read_byte(&(M1[0][i]));;
    OCR1B = pgm_read_byte(&(M1[1][i]));;
    OCR2A = pgm_read_byte(&(M1[2][i]));;
    return i;
}

uint16_t stepbackwardM1(){
    if (i == 0) {
        i = 1023;
        //PORTC ^= (1 << PC1);
    }
    else{
        i--;
    }
    OCR1A = pgm_read_byte(&(M1[0][i]));;
    OCR1B = pgm_read_byte(&(M1[1][i]));;
    OCR2A = pgm_read_byte(&(M1[2][i]));;
    return i;
}

void stepM1(int16_t *steps){
    if (*steps > 0){
        stepforwardM1();
        (*steps)--;
    }
    if (*steps < 0){
        stepbackwardM1();
        (*steps)++;
    }
}

int main(void) {
    // set clock divider to /1
    CLKPR = (1 << CLKPCE);

```

```

    CLKPR = (0 << CLKPS3) | (0 << CLKPS2) | (0 << CLKPS1) | (0 <<
CLKPS0);
    //
    DDRB = (1 << PB1) | (1 << PB2) | (1 << PB3);
    DDRC = (1 << PC1);

    GTCCR = (1<<TSM) | (1<<PSRSYNC) | ((0<<PSRASY)); // halt timers;
(1<<PSRASY) halt timer2, (1<<PSRSYNC) halt timer 0&1

    // TCCR0A |= (1 << WGM00); // phase correct 8bits mode
    // //TCCR0B |= (1 << CS00); //1 prescale
    // TCCR0B |= (1 << CS01);
    // TIMSK0 |= (1 << OCIE0A) | (1 << OCIE0B); // compare A match
interrupt enable
    // OCR0A = Cmm[0]; // compare value, 8bit
    // OCR0B = Cpm[0];

    TCCR1A |= (1 << COM1A1) | (1<< COM1A0) | (1 << COM1B1) | (1<<
COM1B0);
    TCCR1A |= (1 << WGM10); // phase correct 8bits mode
    TCCR1B |= (1 << CS10); //1 prescale
    //TIMSK1 |= (1 << OCIE1A) | (1 << OCIE1B); // compare A match
interrupt enable
    OCR1A = M1[0][0]; //Cmm[0]; // compare value, 16bit
    OCR1B = M1[1][0];

    TCCR2A |= (1 << COM2A1) | (1<< COM2A0) | (1 << COM2B1) | (1<<
COM2B0); //set on upcounting, clear on down counting
    TCCR2A |= (1 << WGM20); // phase correct 8bits mode
    //TCCR0B |= (1 << CS00); //1 prescale
    TCCR2B |= (1 << CS20);
    //TIMSK2 |= (1 << OCIE2A) | (1 << OCIE2B); // compare A match
interrupt enable
    OCR2A = M1[2][0]; // compare value, 8bit
    //OCR2B = Cpp[0];

    //TCNT0= 0x00;
    TCNT1L= 0x00;
    TCNT1H= 0x00;
    TCNT2= 0x00;
    //PORTC &= ~(1 << PC0) & ~(0 << PC1) & ~(0 << PC2);

    GTCCR = 0; //release all timer

    stdout = &mystdout; // setup stdio stream
    uart_init();
    //sei(); // interrupt enable

    uint8_t count = 0;
    int16_t steps = 0;
    double feedAcZ[5];
    double feedGyroX[5];

```

```

uint16_t j = 0;
double setpoint = 0.0;
uint16_t speed = 1;

int16_t AcX;
int16_t AcY;
int16_t AcZ;
int16_t GyroX;
int16_t GyroY;
int16_t GyroZ;
MPU_init();
MPU_write(0x1A, 0);
//MPU_write(0x1B, (2 << 3));

while (1) {
    //uint16_t count = stepforwardM1();
/*
    MPU_read(0x3B, &AcX);
    MPU_read(0x3D, &AcY); */
    //MPU_read(0x3F, &AcZ);

    //MPU_read(0x43, &GyroX);
    //MPU_read(0x45, &GyroY);
// */
    //printf("%" PRIu16 ", ", count);
    //printf("%" PRId16 ", ", AcX);
    //printf("%" PRId16 "\n", AcY);
    if (j >= sensormotor) {
        MPU_read(0x3F, &AcZ);
        MPU_read(0x43, &GyroX);
        //printf("%" PRId16 "\n", GyroZ);
        feedAcZ[5] = feedAcZ[4];
        feedAcZ[4] = feedAcZ[3];
        feedAcZ[3] = feedAcZ[2];
        feedAcZ[2] = feedAcZ[1];

        feedGyroX[5] = feedGyroX[4];
        feedGyroX[4] = feedGyroX[3];
        feedGyroX[3] = feedGyroX[2];
        feedGyroX[2] = feedGyroX[1];

        feedAcZ[1] =
AcZ*4.0/65536.0*1048.0*7.0/3.14/2;
        feedGyroX[1] =
(GyroX+500)*500.0/65536.0*interval*sensormotor/1000000.0*1048.0*7.0/
360.0;
/*
        if (feedGyroX[1] > 30.0) feedGyroX[1] =
30.0;//250*interval*sensormotor(s)*20.4~5000*sensor time
        else if (feedGyroX[1] < -30.0) feedGyroX[1] =
-30.0; */
        //seems sensitivity is 500deg*1.3 instead of
500deg

```

```

                                if ((GyroX > 32760) | (GyroX < -32760))
setpoint =
feedAcZ[1]*0.02+GyroX*500.0/65536.0*interval*sensormotor/1000000.0*1
048.0*7.0/360.0*30;
                                else setpoint = -feedAcZ[1]*0.1+(feedAcZ[1]-
feedAcZ[2])*0.0+feedGyroX[1]*30+(feedGyroX[1]-feedGyroX[2])*70;
                                steps = (int) setpoint;
                                if (steps >= sensormotor) speed=1;
                                else speed = sensormotor/abs(steps);
                                printf("%" PRId16 "\n",GyroX);
                                j=0;
                                }
                                else{
                                    j++;
                                }
                                if (j % speed == 0) stepM1(&steps);
                                _delay_us(interval);
}
}
// ISR(TIMER0_COMPA_vect){
//     if ((TIFR1 | ~(1 << TOV1)) == 0){
//         PORTA |= (1 << PA2);
//         TIFR1 |= (1 << TOV1);
//     }else{
//         PORTA &= ~(1 << PA2);
//     }
//     //PORTC ^= (1 << PC0);
// }
// ISR(TIMER0_COMPB_vect){
//     //PORTC ^= (1 << PC1);
// }
// ISR(TIMER1_COMPA_vect){
//     //PORTC ^= (1 << PC2);
// }

```