



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DESARROLLO DE DISPOSITIVO ESTABILIZADOR PARA LA
INGESTA DE BEBIDAS PARA PERSONAS CON PATOLOGÍAS EN
EXTREMIDADES SUPERIORES CON TRASTORNOS DE
MOVIMIENTOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Axel Joel Rosales Merelo
Kevin Daniel Scippa Wong
TUTOR: Michelle De Los Ángeles Cárdenas Ibañez

Guayaquil - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Michelle de los Ángeles Cárdenas Ibañez, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE DISPOSITIVO ESTABILIZADOR PARA LA INGESTA DE BEBIDAS PARA PERSONAS CON PATOLOGÍAS EN EXTREMIDADES SUPERIORES CON TRASTORNOS DE MOVIMIENTOS**, realizado por Axel Joel Rosales Merelo con documento de identificación N° 0954072575 y por Kevin Daniel Scippa Wong con documento de identificación N° 0950409607, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 14 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Ing. Michelle de los Ángeles Cárdenas Ibañez, Msc.
0926417106

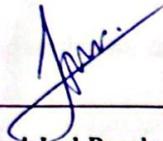
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Axel Joel Rosales Merelo** con documento de identificación N° **0954072575** y **Kevin Daniel Scippa Wong** con documento de identificación N° **0950409607**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 14 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Axel Joel Rosales Merelo
0954072575



Kevin Daniel Scippa Wong
0950409607

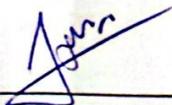
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Axel Joel Rosales Merelo** con documento de identificación N° **0954072575** y **Kevin Daniel Scippa Wong** con documento de identificación N° **0950409607**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DESARROLLO DE DISPOSITIVO ESTABILIZADOR PARA LA INGESTA DE BEBIDAS PARA PERSONAS CON PATOLOGÍAS EN EXTREMIDADES SUPERIORES CON TRASTORNOS DE MOVIMIENTOS**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 14 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Axel Joel Rosales Merelo
0954072575



Kevin Daniel Scippa Wong
0950409607

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a mi madre Yasmin Lourdes Wong Ochoa, quien es un pilar fundamental para mi y gracias a su esfuerzo y gran sacrificio pude comenzar y terminar mis estudios universitarios. A mi hermano Mario Moises Scippa Wong, quien me ha apoyado desde el principio y más en los momentos más difíciles.

Finalmente agradezco a mi hermana Domenica Yumei Scippa Wong por su confianza absoluta que me ha impulsado a seguir adelante.

Kevin Daniel Scippa Wong

Este trabajo de titulación va dedicado a mi padres, para mi padre Ángel Alfredo Rosales Valdez, por su apoyo, cariño y soporte cada vez que necesite de su ayuda y presencia en todo momento, siendo, para mi, un pilar de apoyo con lo que se refiere a conocimiento y sabiduría al momento de tomar decisiones importantes en mi vida, y para mi madre Sonia Gardenia Merelo Guerrero quien para mi fue un ejemplo a seguir desde muy pequeño, enseñándome valores como la responsabilidad, el orden y el respeto, con su amor incondicional y con su gran esfuerzo y sacrificio diario me dio a mi todo lo necesario para poder terminar mis estudios universitarios, estando para mi en todo momento y apoyándome en todo lo que necesitaba. Me siento muy honrado y orgulloso de poder decir que ellos son mis padres y decir que con su esfuerzo, apoyo y confianza en mi, he logrado culminar mis estudios.

Axel Joel Rosales Merelo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi madre y padre por inculcarme excelentes valores como la perseverancia para afrontar cualquier reto, a ver el lado bueno de las cosas malas, a saber escoger lo mejor para mi futuro y lograr superar cada dificultad que se nos presenta en la vida.

Agradezco a la Ing. Michelle Cárdenas por su perseverancia y buen criterio ante el desarrollo del proyecto con las correcciones necesarias, el seguimiento arduo de nuestro trabajo y gracias a la confianza que nos nos brindó para culminar el proyecto.

Kevin Daniel Scippa Wong

Agradezco a mi madre y a mi padre por enseñarme e inculcarme los valores necesarios para que yo hoy pueda terminar mis estudios, enseñarme lo que es no rendirse, no bajar los brazos y saber que si yo me lo propongo puedo con todo, enseñarme el valor de lo que es el estudio y la responsabilidad.

Agradezco a la Ing. Michelle Cárdenas por su perseverancia y compromiso con nosotros y el desarrollo de este proyecto y documento, guiándonos para que todo esto sea posible y depositar esa luz de esperanza en nosotros.

Agradezco a Marco Andrés Zambrano Alvarado, mi mejor amigo, el cual confió en mi en todo momento y me apoyo en muchas ocasiones al momento de realizar este proyecto siendo un ser increíble quien me dio fuerzas y me ayudo en momentos donde mas lo necesitaba.

Axel Joel Rosales Merelo

RESUMEN

Este proyecto se enfoca en el desarrollo de un dispositivo que facilita la ingesta de bebidas para personas con patologías en las extremidades superiores, como trastornos de movimiento. El dispositivo está compuesto por dos servomotores MG996R, seleccionados para corregir movimientos involuntarios. Estos servomotores están conectados a un Arduino, el cual recibe señales de un sensor MPU6050 que integra un acelerómetro y un giroscopio. El sensor detecta los movimientos involuntarios del paciente, y el Arduino controla los servomotores para que se muevan en dirección contraria, estabilizando el vaso.

Las piezas del dispositivo fueron diseñadas utilizando software CAD y luego impresas en 3D con materiales como ABS y PLA. A través de varias pruebas, se logró alcanzar el punto estable y la velocidad de respuesta deseada, obteniendo el resultado esperado: una acción controlada que permite al usuario beber con confianza y sin preocupaciones.

Este dispositivo no solo mejora la calidad de vida de personas con trastornos de movimiento, sino que también abre la puerta a futuras innovaciones en el campo de la asistencia tecnológica para condiciones neurodegenerativas y otras patologías motoras. Continuar con la investigación y el desarrollo de estas tecnologías es esencial para seguir mejorando la vida de quienes enfrentan desafíos diarios debido a trastornos neurológicos.

Palabras claves: asistencia tecnológica, trastornos de movimiento, Arduino, MPU6050, servomotores, impresión 3D, CAD.

ABSTRACT

This project focuses on the development of a device that facilitates the intake of beverages for people with upper limb pathologies, such as Parkinson's-related movement disorders. The device is composed of two MG996R servomotors, selected to correct involuntary movements. These servomotors are connected to an Arduino Nano, which receives signals from an MPU6050 sensor that integrates an accelerometer and a gyroscope. The sensor detects the patient's involuntary movements, and the Arduino controls the servomotors to move in the opposite direction, stabilising the vessel.

The parts of the device were designed using CAD software and then 3D printed using materials such as ABS and PLA. Through several tests, it was possible to achieve the desired stable point and speed of response, obtaining the expected result: a controlled action that allows the user to drink with confidence and without worries.

This device not only improves the quality of life for people with Parkinson's, but also opens the door to future innovations in the field of assistive technology for neurodegenerative conditions and other motor pathologies. Continuing research and development of these technologies is essential to further improve the lives of those who face daily challenges due to neurological disorders.

Keywords: assistive technology, movement disorders, Parkinson's, Arduino Nano, MPU6050, servo motors, 3D printing, CAD.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	12
II.	PROBLEMA	13
III.	OBJETIVOS	14
III-A.	Objetivo general	14
III-B.	Objetivos específicos	14
IV.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
IV-A.	Trastornos de movimiento	15
IV-B.	Tecnología para la ayuda de trastornos de movimiento	17
IV-C.	Elementos empleados para el desarrollo del dispositivo	18
V.	MARCO METODOLÓGICO	20
V-A.	Primeras ideas de solución	20
V-B.	Diseño mecánico del prototipo	20
V-C.	Diseño electrónico	23
V-C1.	Cálculo de los ángulos de inclinación:	25
V-D.	Diseño del PID	26
V-E.	Implementación del diseño mecánico	27
V-E1.	Piezas impresas en 3D	27
V-E2.	Implementación del circuito y programación	30
VI.	RESULTADOS	32
VII.	CRONOGRAMA	33
VIII.	PRESUPUESTO	34
VIII-1.	Costos de fabricación para un dispositivo	34
VIII-2.	Costos de impresión de todo el proyecto	34
IX.	CONCLUSIONES	35
X.	RECOMENDACIONES	36
	Apéndice A: Planos	39
	Apéndice B: Código Arduino	45

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Zonas del cerebro donde se encuentran las áreas motoras [9]	15
2.	Región donde se detecta la presencia del Parkinson [16]	16
3.	Mutación en el gen HTT [20]	16
4.	Dispositivo Liftware [21]	17
5.	Dispositivo Hand-Steady [22]	17
6.	Aplicación móvil StudyMyTremor [23]	18
7.	Componente electrónico MPU6050 [25]	18
8.	Servomotor MG996R [26]	18
9.	Diagrama del control PID [27]	19
10.	Primeros bocetos preliminares para el prototipo del dispositivo, por K. Scippa y A. Rosales.	20
11.	Boceto a mano final, por K. Scippa y A. Rosales.	21
12.	Modelado 3D Grip, por K. Scippa y A. Rosales.	21
13.	Modelado 3D Unión, por K. Scippa y A. Rosales.	22
14.	Modelado 3D acople del Servomotor, por K. Scippa y A. Rosales.	22
15.	Modelado 3D Soporte para el vaso, por K. Scippa y A. Rosales.	23
16.	Ejes del MPU 6050[29]	23
17.	Funcionamiento y lectura del sensor MPU 6050, por K. Scippa y A. Rosales.	24
18.	Elementos esenciales para el prototipo, por K. Scippa y A. Rosales.	24
19.	Circuito electrónico, por K. Scippa y A. Rosales.	25
20.	Formula para determinar la inclinación en grados del eje X, por K. Scippa y A, Rosales	25
21.	Formula para determinar la inclinación en grados del eje Y, por K. Scippa y A, Rosales	25
22.	Formula para determinar ángulo de inclinación, por K. Scippa y A, Rosales	26
23.	Diagrama de bloques del controlador PID, por K. Scippa y A. Rosales.	27
24.	Grip impreso y en el software PrusaSlicer, por K. Scippa y A. Rosales.	28
25.	Unión de servomotores impresa y en el software PrusaSlicer, por K. Scippa y A. Rosales.	28
26.	Acople impreso y en el software PrusaSlicer, por K. Scippa y A. Rosales.	29
27.	Soporte impreso y en el software PrusaSlicer, por K. Scippa y A. Rosales.	29
28.	Prototipo del Dispositivo impreso completamente	30
29.	Circuito inicial interno del dispositivo, por K. Scippa y A. Rosales.	30
30.	Dispositivo en funcionamiento, por K. Scippa y A. Rosales.	31
31.	Dispositivo funcionando y estabilizado, por K. Scippa y A. Rosales.	32
32.	Cronograma de actividades, por K. Scippa y J, Rosales	33
33.	Lámina acotada de Agarradera, por K. Scippa y A, Rosales, Autodesk Fusion 360	39
34.	Lámina acotada de Soporte de servomotor, por K. Scippa y A, Rosales, Autodesk Fusion 360	40
35.	Lámina acotada de Unión de servomotores, por K. Scippa y A, Rosales, Autodesk Fusion 360	41
36.	Lámina acotada de Soporte para el vaso, por K. Scippa y A, Rosales, Autodesk Fusion 360	42
37.	Lámina acotada de caja de arduino, por K. Scippa y A, Rosales, Autodesk Fusion 360	43
38.	Lámina acotada de Agarradera 2.0, por K. Scippa y A, Rosales, Autodesk Fusion 360	44

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Presupuesto para la fabricación de un solo dispositivo	34
II.	Gastos de impresión para el desarrollo del proyecto	34

I. INTRODUCCIÓN

El presente documento está estructurado en varias secciones que incluyen: los fundamentos teóricos, donde se exploran los trastornos de movimiento y las tecnologías de asistencia; una descripción detallada de los elementos utilizados en el desarrollo del dispositivo; y un marco teórico que explica el proceso de creación desde la perspectiva mecánica, electrónica y programable. Posteriormente, se presentan los resultados obtenidos, las conclusiones derivadas del proyecto, una tabla de presupuestos y, finalmente, los anexos que contienen los planos de las piezas diseñadas.

El proyecto que se detalla dentro de este documento se centra en el desarrollo de un dispositivo innovador que busca mejorar la calidad de vida de personas con patologías en las extremidades superiores, como los trastornos de movimiento relacionados con el Parkinson. El dispositivo utiliza dos servomotores MG996R, controlados por un Arduino, que reciben señales de un sensor MPU6050. Este sensor detecta los movimientos involuntarios del paciente y permite que los servomotores ajusten la posición del vaso para estabilizarlo, contrarrestando los temblores y permitiendo al usuario beber de manera segura y controlada.

Las piezas del dispositivo fueron diseñadas en software CAD e impresas en 3D con materiales como ABS y PLA. A través de pruebas rigurosas, se logró alcanzar un equilibrio óptimo entre estabilidad y velocidad de respuesta, asegurando que el dispositivo cumpliera con su objetivo de facilitar la ingesta de bebidas de manera confiable.

II. PROBLEMA

A medida que el tiempo avanza, la tecnología, medicinas y tratamientos crecen y a su vez se van descubriendo nuevas enfermedades que producen afecciones muy severas en los que las padecen; las patologías relacionadas con los trastornos de movimiento siguen sin poseer una cura absoluta y con tratamientos costosos.

Un estudio realizado por el Instituto Nacional de Geriátrica en México arrojó como resultado que la tendencia con la cual se registran los casos de la enfermedad de Parkinson (EP) tienden a variar de acuerdo a ciertos lineamientos de algunos diagnósticos ya puestos en práctica. Esta enfermedad ha prevalecido por mucho tiempo en la historia, se realiza una estimación del 0.3 % de la población mundial y con el 1 % de la población geriátrica. El impacto de estimación es de 8 a 18 por cada 100.000 habitantes por año . La mayoría de los casos epidemiológicos estudiados, han arrojados como resultado que la presencia de la EP es de aproximadamente de 1.5 – 2 veces mayor en personas de sexo masculino que femenino [1]. Sin embargo, esta enfermedad se pueden encontrar en cualquier individuo, algunos expertos han sugerido que hay mayor incidencia o mayor riesgo en poblaciones hispanas, las cuales una vez diagnosticados de esta enfermedad, sufren con esta patología hasta su deceso. Estos tipos de enfermedades no tienen ningún tipo de cura actualmente, aunque hay varios tipos de tratamientos que mejoran considerablemente el estado del paciente, pero estos poseen un costo demasiado elevado para realizarlo una persona de clase media .

El desarrollo de un dispositivo estabilizador eficaz para el consumo de bebidas tiene el potencial de abordar varios retos críticos a los que se enfrentan las personas con trastornos del movimiento de las extremidades superiores. Un objetivo primordial es restaurar la independencia y reducir la dependencia de los cuidadores para tareas cotidianas como lo es consumir algún tipo de bebida. Esta dependencia puede ser una fuente importante de frustración y afectar no sólo a la autonomía de la persona, sino también a su sentido de la intimidad y la autoestima [2]. Un dispositivo eficaz puede empoderar a las personas y mejorar su dignidad y calidad de vida.

Los temblores involuntarios y la reducción de la coordinación suponen importantes obstáculos para el consumo controlado de bebidas, lo que provoca derrames, vergüenza y reticencia a participar en entornos sociales [3]. Un dispositivo estabilizador podría mejorar significativamente la precisión de la bebida y minimizar los derrames, fomentando una mayor confianza tanto en situaciones privadas como sociales.

Los trastornos del movimiento suelen requerir un tratamiento continuo, que incluye medicamentos, terapias y, en algunos casos, un amplio apoyo por parte de los cuidadores. Esto supone una importante carga económica para las personas y los sistemas sanitarios [4]. Un dispositivo de asistencia asequible y accesible, como el previsto, tiene el potencial de reducir algunos de estos costes. Al fomentar la independencia y reducir la necesidad de asistencia constante de los cuidadores, podría aliviar una parte de los gastos de los cuidados a largo plazo.

Es importante destacar el impacto psicológico de los trastornos del movimiento. La incapacidad para realizar actividades básicas sin ayuda puede tener profundos efectos en la salud mental, lo que puede provocar depresión, ansiedad y una disminución del bienestar general [5], [6]. Al capacitar a los individuos para superar los retos de la bebida, un dispositivo estabilizador podría contribuir a su resiliencia emocional, mejorando el bienestar psicológico y reduciendo potencialmente la carga de complicaciones de salud mental[7].

III. OBJETIVOS

III-A. Objetivo general

Desarrollar un dispositivo estabilizador destinado a la ingesta de bebidas para personas con desórdenes de movimiento en sus extremidades superiores mediante la implementación del controlador Arduino nano.

III-B. Objetivos específicos

- Diseñar las partes del dispositivo utilizando el software SolidWorks.
- Implementar un sistema PID basado en un driver PCA, que corrija los movimientos involuntarios en 2 ejes.
- Validar el funcionamiento del dispositivo mediante pruebas que simule la patología de temblores en manos.

IV. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

IV-A. Trastornos de movimiento

Los denominados trastornos de movimiento hacen referencia a enfermedades extra-piramidales, y no se tiene en consideración la existencia de los distintos tipos de trastornos en los que la presencia de problemas existentes con los ganglios basales es inexistente. Desde una perspectiva médica, se logran identificar dos categorías de trastornos de movimiento: primeros los que se caracterizan por una reducción en los movimientos, mismos que regularmente van de la mano con rigidez muscular, y por otro lado están los que generan movimientos involuntarios. Aquellos que pueden variar en cuanto a su velocidad también en cuanto a su amplitud, repetición y capacidad para ser suprimidos, etc, así como los factores que los desencadenan como también pueden aliviar, y los síntomas sensoriales asociados. Entre estas discinesias se incluyen el temblor, la corea, el balismo, la atetosis, la distonía, las mioclonías, los tics, las estereotipias y la acatisia [8].

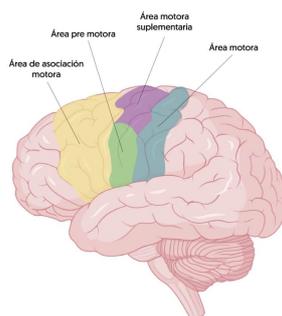


Figura 1. Zonas del cerebro donde se encuentran las áreas motoras [9]

Los trastornos de movimiento son trastornos neurológicos que causan espasmos o sacudidas. Los tipos de trastornos más comunes son: hiper-cinético, hipo-cinético y discinesia [10]. Los trastornos del movimiento son un grupo de enfermedades que afectan la forma en que nos movemos. Estos problemas surgen de un mal funcionamiento en una parte del cerebro llamada núcleos de los ganglios basales, existen una extensa variedad de enfermedades neurológicas que afectan el funcionamiento de los ganglios basales, que dan como resultado diferentes tipos de movimientos anormales [11].

Este tipo de enfermedades son crónicas y progresivas, consideradas como un desorden neurodegenerativo del movimiento. Una de las consecuencias, de entre todas las que existen, que se considera las más importante es sin lugar a dudas la pérdida neuronal, trata de una clara reducción de dopamina en el cerebro, dando origen a un fallo en el control de las estructuras cerebrales que regulan el movimiento. Las causas de estas son indefinidas, sin embargo, existe evidencia que la exposición a contaminación atmosférica, disolventes pueden aumentar el porcentaje de sufrirla sin dejar de los antecedentes familiares que aumenta mucho más el riesgo [12]. Esta enfermedad presenta un claro deterioro conforme se agrave la condición, no solo al respecto a la parte motora, si no que por datos se sabe que el 20 % de los pacientes con la enfermedad de Parkinson en etapa inicial no presentan una sintomatología de tipo motora, comienzan con fatiga abundante, molestias musculo esqueléticas y depresión, situación que se va agravando [13].

El 80 % de los personas que cuentan con esta patología sufren un deterioro cognitivo conforme el paso de los años, junto a esta, por lo general, se hace presente la demencia la cual manifiesta un procedimiento neurodegenerativo, el cual se deriva de los depósitos anormales de alfa-sinucleína. La cual se evidencia en el paciente mediante los síntomas motores [14].

Según estadísticas globales, entre 100 y 600 personas por cada 100,000 habitantes son diagnosticadas con esta enfermedad. En Ecuador, una encuesta puerta a puerta realizada en 2017 reveló que había 243 casos en la provincia de Manabí. La mayoría de los casos registrados correspondían a personas mayores de 61 años, lo que refleja que

la enfermedad tiende a aparecer en el rango de edad de 40 a 80 años, con una mayor prevalencia en pacientes masculinos en comparación con las pacientes femeninas. [15].

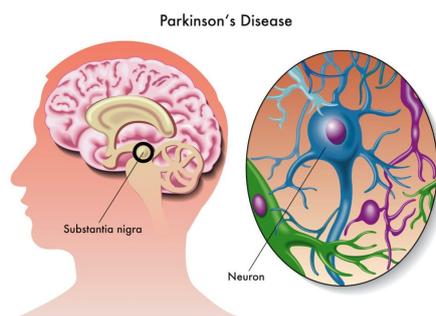


Figura 2. Región donde se detecta la presencia del Parkinson [16]

Actualmente, se desconoce la causa exacta de estos trastornos, aunque la enfermedad de Parkinson puede presentarse tanto de forma hereditaria como por exposición a ciertos factores, incluyendo virus, agua no potable, deficiencia de vitamina E y consumo excesivo de tabaco. La probabilidad de heredar esta patología es aproximadamente del 17%. El gen más asociado es el de la alfa-sinucleína, cuya mutación está estrechamente vinculada con una forma hereditaria de Parkinson que se transmite de generación en generación y, en algunos casos, puede llevar a la demencia [17].

Las personas que sufren de estos trastornos a menudo experimentan depresión, posiblemente porque actividades cotidianas, como comer, beber, salir o socializar, se vuelven difíciles, incómodas e incluso frustrantes. Esto motiva la creación de un dispositivo que facilite una vida más manejable para quienes padecen estas condiciones.

La progresión de la enfermedad de Parkinson varía significativamente entre los pacientes. Algunos pueden mantener un estado funcional relativamente estable durante años, mientras que otros pueden enfrentar un deterioro más rápido. Con el tiempo, los movimientos involuntarios suelen intensificarse y pueden afectar nuevas áreas del cuerpo.

En regiones con acceso limitado a atención neurológica especializada, como en países de ingresos bajos y medianos, la evaluación y tratamiento de Parkinson por parte de personal no especializado en atención primaria se vuelve especialmente importante[18].

La enfermedad de Huntington es otro trastorno neurodegenerativo progresivo que afecta a aproximadamente 11 a 13 personas por cada 100,000 habitantes. Esta condición se caracteriza por un deterioro motor progresivo, deterioro cognitivo y cambios drásticos en la conducta. Los trastornos motores típicos incluyen corea, discinesia, distonía, rigidez y bradicinesia [19].

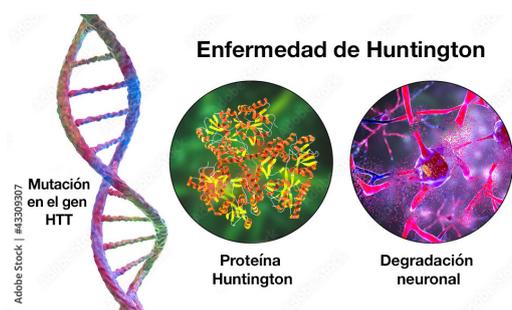


Figura 3. Mutación en el gen HTT [20]

IV-B. Tecnología para la ayuda de trastornos de movimiento

El Liftware Level es uno de los dispositivos estabilizadores, mismo que cuenta con utensilios ajustables, que reducen el 70 % del temblor involuntario. Utiliza una computadora encargada de dos motores en el mango de la cuchara, dando como resultado el movimiento en dirección opuesta al movimiento involuntario causado por la mano del paciente [21].



Figura 4. Dispositivo Liftware [21]

Otro dispositivo estabilizador es Hand-Steady lo que lo diferencia del resto es su forma de vaso que detiene el derrame y aumenta el control de movimiento del vaso, por medio de una agarradera que le permite rotar 360° [22].



Figura 5. Dispositivo Hand-Steady [22]

Apparkinson, esta fue una aplicación destinada a facilitar la programación de tratamientos con medicación para personas con Parkinson y sus cuidadores, así como a coordinar ejercicios en casa y prepararse para las consultas médicas. La aplicación fue diseñada para ser simple e intuitiva, permitiendo un uso fácil y accesible, luego de un tiempo esta aplicación fue descontinuada por cuestiones de falta de mantenimiento y nula innovación. Una app similar es StudyMyTremor, la cual mide y además analiza el temblor de manos. Esto permite realizar un seguimiento de los síntomas [23].

En ciertos casos de Parkinson u otras enfermedades con trastornos motores, existe el riesgo de caídas. Para mitigar este riesgo, se desarrollaron cinturones con airbag, diseñados para colocarse en la cintura. Estos dispositivos incorporan acelerómetros y giroscopios que detectan la caída y activan el sistema de protección para minimizar el impacto

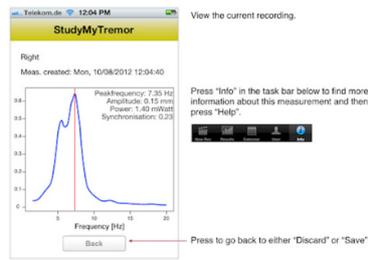


Figura 6. Aplicación móvil StudyMyTremor [23]

IV-C. Elementos empleados para el desarrollo del dispositivo

El acelerómetro es un dispositivo que fue diseñado para poder medir las aceleraciones y oscilaciones de los objetos a los que estén sujetos. En el mercado existe una presencia muy variada de acelerómetros, el cual tiene dos principales parámetros que se debe tener en cuenta a la hora de emplear este tipo de dispositivo: rango de funcionamiento de temperatura y frecuencia [24].

El sensor MPU6050 es un IMU o también conocido como unidad de medición inercial que cuenta con 6 grados de libertad puesto que une dos componentes como lo son un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio con la misma cantidad de ejes. Es un sensor normalmente son implementados en navegación, estabilización, etc.[25].



Figura 7. Componente electrónico MPU6050 [25]

Un servomotor es uno de los tipos de motores eléctricos, este es empleado para controlar a precisión la posición y también la velocidad en los sistemas de control. Como función principal posee el giro en un amplio rango de velocidades y el control del posicionamiento y velocidad que este se le ordene con la programación adecuada [26].



Figura 8. Servomotor MG996R [26]

El control PID es un tipo mecanismo de control mediante retroalimentación de datos, usado constantemente en sistemas de control industrial. Este controlador es estratégicamente empleado para calcular el error existente entre la salida de un sistema y un valor deseado, con lo cual se genera una señal de control conformada por una proporcional, una integral y una derivativa [27].

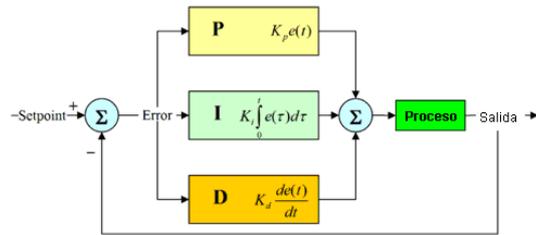


Figura 9. Diagrama del control PID [27]

Un microcontrolador es aquel circuito integrado programable, el cual su función es ejecutar la programación dada en el software con el cual sea compatible. En este dispositivo existen 3 unidades principales: unidad central de procesamiento, memoria, periféricos de entrada y salida.[28].

V. MARCO METODOLÓGICO

V-A. Primeras ideas de solución

El enfoque de este proyecto se centra en el desarrollo de un dispositivo que facilite la ingesta de bebidas para personas con patologías en extremidades superiores con trastornos de movimiento, el cual consiste en el prototipo de un dispositivo controlado por un microcontrolador, este consta de una programación mediante un control PID, cuya finalidad es contrarrestar el efecto que tiene el movimiento errático de la persona que cuenta con este tipo de patología. En el desarrollo del prototipo se propone crear diferentes alternativas de diseño y funcionamiento del prototipo de este dispositivo con la problemática esclarecida en capítulos anteriores, se definieron diferentes bocetos que básicamente deben cumplir con la función de estabilizar y facilitar la ingesta de bebidas.

- **Vaso tipo mate con estabilización en el mango** Uno de los primeros bocetos creados consta de un vaso que se ubica dentro de un jarro grande con forma circular el cual consta con un mecanismo dentro de la zona de agarre del mismo contando con 2 servomotores, uno en cada lado del mismo, los cuales permiten corregir los movimientos del usuario tanto en el eje X como en el eje Y.
- **Estructura estabilizadora sin agarre lateral**
Este boceto consta de una estructura alargada la cual utiliza 3 servomotores, además de contar con la parte inferior mas grande la cual reemplaza el agarre lateral, además que es ideal para poder ubicar las conexiones.

Gracias a los bocetos de los prototipos, como se muestra en la figura 10, se logra obtener un análisis detallado de sus ventajas y desventajas. A partir de este análisis, dio cabida a uno de los diseños como prototipo final o alternativa. Desarrollar un nuevo modelo que integre las características óptimas de cada propuesta, asegurando así el cumplimiento de los requisitos principales establecidos.

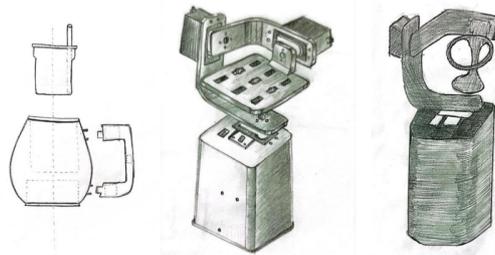


Figura 10. Primeros bocetos preliminares para el prototipo del dispositivo, por K. Scippa y A. Rosales.

bb

V-B. Diseño mecánico del prototipo

Al realizar un respectivo análisis y estudio del diseño de los primeros bocetos del prototipo, se procede con la creación del diseño mecánico final del mismo.

Para determinar el boceto adecuado se realiza el análisis de los requerimientos esenciales a cumplir, puesto que existen cierta cantidad de variables tales como ergonomía, tamaño, peso, costo, capacidad de innovación, facilidad de conexión.

El diseño final del prototipo del dispositivo se desarrolla integrando las mejores características de los bocetos anteriores. Se enfatiza la atención a la optimización de elementos clave, como la unión de los servomotores y la inclusión de un compartimento destinado a alojar las conexiones, con el fin de minimizar la visibilidad de los cables y lograr un diseño más depurado y profesional. El cual se observa en la figura 11.

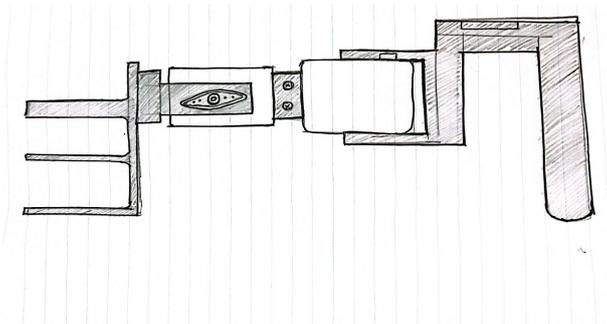


Figura 11. Boceto a mano final, por K. Scippa y A. Rosales.

Una vez la idea de este boceto estuvo clara y precisa, se inició con el modelado de las piezas, mismas que fueron diseñadas en un software CAD, se decidió emplear el software Autodesk Fusion 360 como herramienta principal para el diseño y modelado 3D de las piezas del dispositivo. Esta elección se fundamentó en la disponibilidad de una licencia accesible y completa para uso académico y personal, en contraste con SolidWorks, cuyo acceso está restringido a licencias comerciales o educativas que no se encontraban disponibles en el momento del desarrollo. Al momento de realizar el diseño de las mismas se tomó en consideración las medidas de los equipos a utilizar para poder crear los slots para cada uno de ellos y dimensiones de cada parte considerando que el tamaño del dispositivo no debe ser demasiado grande por cuestiones de comodidad y ergonomía.

La primera pieza es una agarradera diseñada para proporcionar una base sólida al dispositivo. En la parte superior de la agarradera se ubica un sensor, para detectar el movimiento involuntario del usuario. Esta pieza también incluye un compartimento interno donde se coloca los cables de conexión necesarios, creando una estructura estable y compacta.

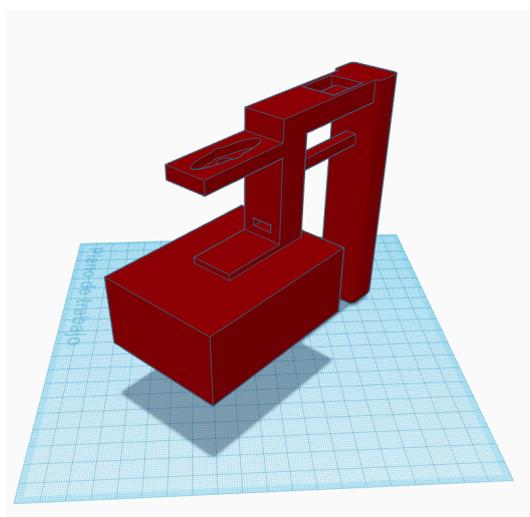


Figura 12. Modelado 3D Grip, por K. Scippa y A. Rosales.

La segunda pieza es una pequeña pero crucial conexión que permite la unión de dos servomotores. Esta pieza ha sido diseñada para garantizar que los movimientos de corrección, proporcionados por los servomotores, se transmitan de manera precisa y eficiente. Su diseño optimiza el espacio y la funcionalidad del dispositivo, asegurando un alineamiento perfecto entre ambos motores.

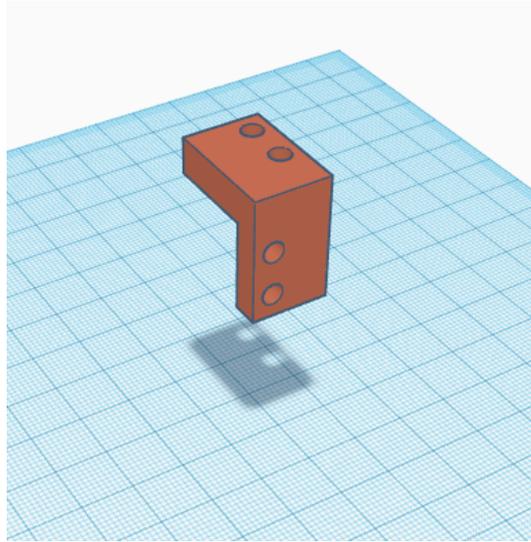


Figura 13. Modelado 3D Unión, por K. Scippa y A. Rosales.

La tercera pieza es un acople específico para el servomotor final del dispositivo. Este acople facilita la transferencia de movimientos del servomotor al soporte del vaso, garantizando una respuesta precisa y estable a los comandos del controlador. Su diseño ha sido optimizado para asegurar una sujeción firme y sin juego, lo que es vital para el correcto funcionamiento del dispositivo.

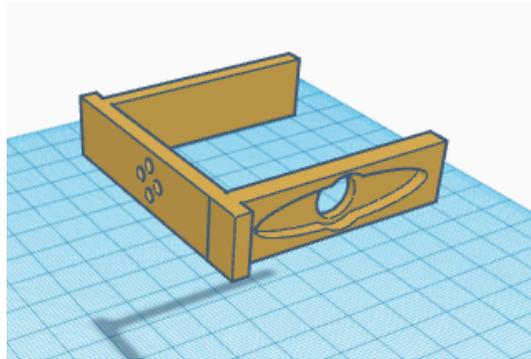


Figura 14. Modelado 3D acople del Servomotor, por K. Scippa y A. Rosales.

El soporte para el vaso es una pieza clave en la funcionalidad del dispositivo, diseñada para sostener de manera segura el vaso del usuario que utiliza al momento de ingerir alguna bebida. Este soporte se conecta directamente al acople del servomotor final, permitiendo que el vaso se mueva en coordinación con el dispositivo estabilizador. Su diseño robusto y seguro asegura que el vaso permanezca en su lugar, incluso durante las correcciones de movimiento.

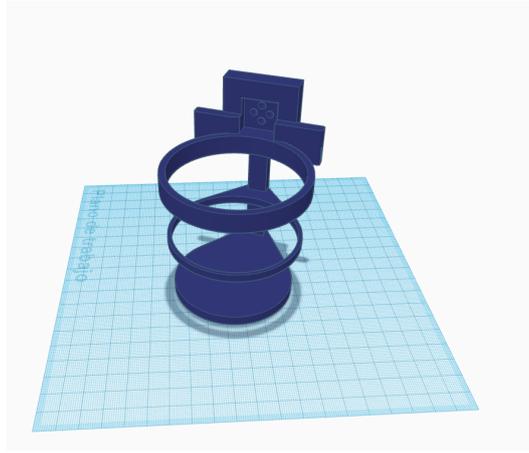


Figura 15. Modelado 3D Soporte para el vaso, por K. Scippa y A. Rosales.

V-C. Diseño electrónico

Para el desarrollo de la parte electrónica del prototipo, se determina los elementos a utilizar, comenzando por buscar un sensor que permita ver las variaciones de velocidad y movimiento en los ejes que son principalmente afectados por este tipo de patologías, sensor que trabaja en conjunto a un microcontrolador Arduino. Se determina que el sensor MPU6050 es adecuado, debido a que integra un acelerómetro capaz de medir la aceleración en los ejes X, Y y Z, junto con un giroscopio que permite evaluar la velocidad angular, ambos con 6 grados de libertad. Los ejes del dispositivo se visualiza de forma explícita en la figura 16.

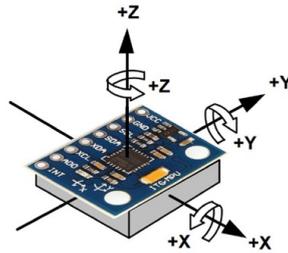


Figura 16. Ejes del MPU 6050[29]

Luego de adquirir el sensor se realizaron pruebas en el software Arduino IDE, utilizando un código genérico, el cual permita ver la respuestas desde el apartado de monitor serial, una vez se obtuvo el código funcional, se fueron generando las conexiones entre el microcontrolador Arduino y el sensor MPU 6050, como resultado se consiguió el correcto funcionamiento de ambos en conjunto como se muestra en la figura 17.

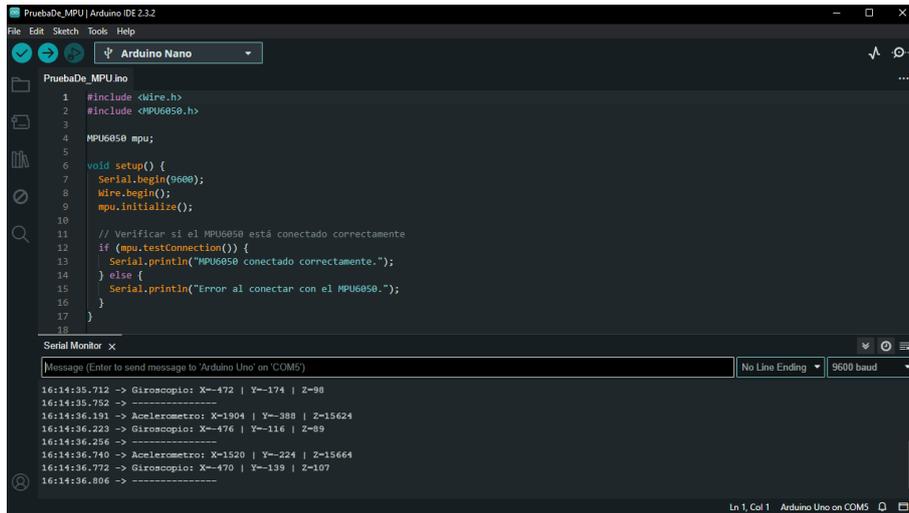


Figura 17. Funcionamiento y lectura del sensor MPU 6050, por K. Scippa y A. Rosales.

Una vez finalizado el diseño mecánico y validado el funcionamiento del sensor en el prototipo, se procedió a seleccionar un actuador capaz de mover y estabilizar el dispositivo. La selección se centró en un servomotor que ofreciera el torque necesario para soportar el peso y compensar de manera efectiva los movimientos en los ejes. Se determinó que el servomotor MG996R es el más adecuado para ejercer como actuador en el prototipo. Estos servomotores se conectan al controlador, los cuales reciben la señal del sensor MPU6050. Este envía la información hacia al Arduino para procesar los movimientos, aplicar el control PID de las señales y proporcionar la señal de activación a los servomotores, compensando los movimientos involuntarios provocados por los espasmos o temblores asociados a la patología del paciente. Los componentes utilizados se muestran en la figura 18.

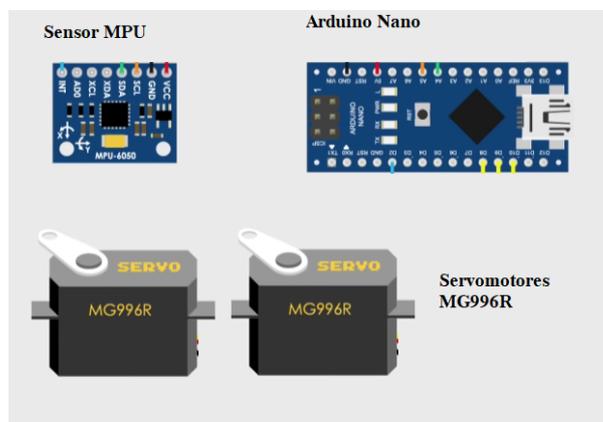


Figura 18. Elementos esenciales para el prototipo, por K. Scippa y A. Rosales.

Una vez seleccionados los elementos a utilizar, se procede con las conexiones que emplea este prototipo, se debe tomar en cuenta que el núcleo del circuito electrónico diseñado del sistema es el microcontrolador Arduino, mismo que recibe señales del movimiento que realiza el usuario a través del sensor MPU6050, que posee el acelerómetro y giroscopio de 6 ejes que percibe y registra la inclinación y rotación del vaso. Las señales captadas por el sensor son enviadas al Arduino, el cual las procesa utilizando un algoritmo de Control PID (Proporcional-Integral-Derivativo). Este algoritmo, con sus constantes de K_p , K_i y K_d , se encarga de ajustar en tiempo real la posición de dos servomotores MG996R, los cuales están físicamente unidos al vaso, corrigiendo su inclinación para mantenerlo en una posición estable.

El MPU6050 está conectado al controlador mediante el protocolo I2C, utilizando la dirección 0x68. Para obtener los datos necesarios, el Arduino envía solicitudes de lectura periódicas a los registros del sensor. El acelerómetro proporciona las lecturas de aceleración en los ejes X, Y y Z en valores de 16 bits, mientras que el giroscopio entrega las velocidades angulares en los ejes X e Y. Se puede apreciar las conexiones de todo el circuito en la figura 19.

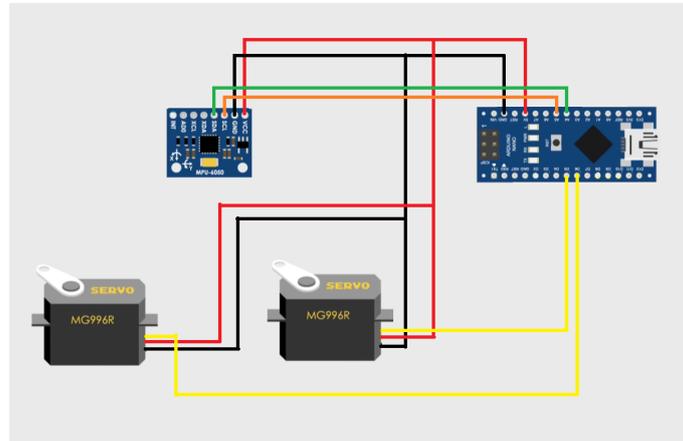


Figura 19. Circuito electrónico, por K. Scippa y A. Rosales.

V-C1. Cálculo de los ángulos de inclinación::

■ **Lectura del Acelerómetro:**

Los valores sin procesar del acelerómetro (AcX, AcY, AcZ) se escalan mediante un ratio de conversión de 16384.0, correspondiente a la sensibilidad configurada de ±2g. Esto convierte los valores en unidades gravitacionales (g).

- **Ángulos a partir del Acelerómetro:** Los ángulos de inclinación en los ejes X e Y se calcularon usando funciones trigonométricas, específicamente la tangente inversa, para determinar la inclinación en grados. Para el eje X (Angle[0]):

$$\text{Acc}[0] = \text{atan} \left(\frac{\text{AcY}/A_R}{\sqrt{\left(\frac{\text{AcX}}{A_R}\right)^2 + \left(\frac{\text{AcZ}}{A_R}\right)^2}} \right) \times \text{RAD_TO_DEG}$$

Figura 20. Formula para determinar la inclinación en grados del eje X, por K. Scippa y A. Rosales

Para el eje Y (Angle[1]):

$$\text{Acc}[1] = \text{atan} \left(\frac{-\text{AcX}/A_R}{\sqrt{\left(\frac{\text{AcY}}{A_R}\right)^2 + \left(\frac{\text{AcZ}}{A_R}\right)^2}} \right) \times \text{RAD_TO_DEG}$$

Figura 21. Formula para determinar la inclinación en grados del eje Y, por K. Scippa y A. Rosales

El termino RAD-TO-DEG es el factor de conversión de radianes a grados, aproximadamente 57.2958.

- **Lectura del Giroscopio:**

El giroscopio mide la velocidad angular en los ejes X e Y (GyX, GyY), y sus valores se convierten a grados por segundo mediante un ratio de 131.0, basado en la configuración de sensibilidad del giroscopio a $\pm 250^\circ/\text{s}$. Los ángulos proporcionados por el giroscopio se integran a lo largo del tiempo para obtener la orientación angular.

- **Filtro Complementario:** Para obtener un ángulo de inclinación más preciso y estable, se aplica un filtro complementario que fusiona los datos del acelerómetro y el giroscopio. El filtro da un peso mayor al giroscopio para evitar ruidos de alta frecuencia y un peso menor al acelerómetro para corregir el sesgo a largo plazo:

$$\text{Angle}[0] = 0.98 \times (\text{Angle}[0] + \text{Gy}[0] \times 0.010) + 0.02 \times \text{Acc}[0]$$

$$\text{Angle}[1] = 0.98 \times (\text{Angle}[1] + \text{Gy}[1] \times 0.010) + 0.02 \times \text{Acc}[1]$$

Figura 22. Formula para determinar ángulo de inclinación, por K. Scippa y A. Rosales

En esta fórmula, el término 0.010 representa el tiempo de muestreo en segundos, y los factores 0.98 y 0.02 son coeficientes que determinan la contribución de cada sensor en el cálculo final del ángulo.

Una vez obtenidos los ángulos de inclinación actuales en los ejes X y Y, se utilizan como entradas para el controlador PID, cuyo objetivo es minimizar el error entre el ángulo deseado (setpoint, que en este caso es 0° para mantener el vaso estable) y el ángulo actual. El PID ajusta las salidas (OutputX, OutputY) que se utilizan para controlar los servomotores MG996R, los cuales corrigen la inclinación del vaso.

V-D. Diseño del PID

En cuanto al control PID integrado en la programación, este se encarga de regular la inclinación del vaso. Este control ajusta la señal de salida hacia los servomotores MG996R en función de los ángulos medidos por el MPU. Los parámetros del PID (K_p , K_i y K_d) fueron determinados empíricamente mediante pruebas iterativas.

- **Componente Proporcional (K_p):**

La constante proporcional K_p controla la fuerza de corrección aplicada en respuesta al error actual, que es la diferencia entre el ángulo deseado (Setpoint) y el ángulo actual (Input). Un valor más alto de K_p significa que el sistema reacciona más agresivamente a los errores, intentando corregir la inclinación del vaso de manera rápida. Sin embargo, si K_p es demasiado alto, el sistema puede volverse inestable, oscilando alrededor del punto de equilibrio.

- **Componente Integral (K_i):**

La constante integral K_i se encarga de corregir errores acumulados a lo largo del tiempo. Si el vaso tiene una inclinación sostenida que no se corrige completamente por el componente proporcional, el término integral incrementa gradualmente la corrección hasta eliminar ese error persistente. La constante K_i fue ajustada para encontrar un equilibrio donde se eliminan los errores residuales sin causar una acumulación excesiva que pueda llevar a sobre corrección.

- **Componente Derivativo (K_d):**

La constante derivativa K_d predice la tendencia futura del error, midiendo la tasa de cambio del error. Este término añade una corrección basada en la velocidad a la que cambia el error, ayudando a reducir las oscilaciones y suavizando la respuesta del sistema. K_d fue ajustada para prevenir que el vaso se mueva de manera errática cuando se aplican correcciones rápidas.

En cada ciclo de lazo del programa, los ángulos actuales de inclinación en los ejes X y Y (InputX, InputY) se comparan con los valores deseados (SetpointX, SetpointY), que en este caso son ambos 0° , indicando que el vaso debe estar en posición completamente vertical. El controlador PID utiliza estas entradas para calcular las salidas

(OutputX, OutputY) en función de las ecuaciones PID, que integran las contribuciones proporcional, integral y derivativa:

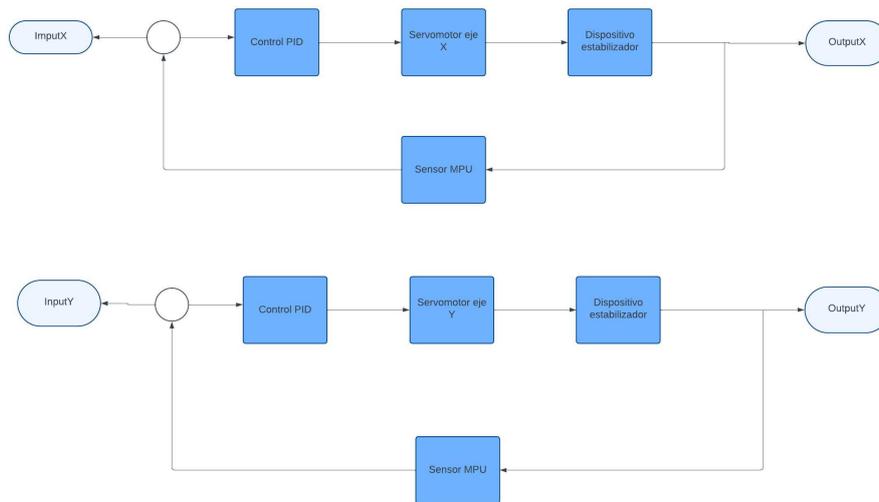


Figura 23. Diagrama de bloques del controlador PID, por K. Scippa y A. Rosales.

V-E. Implementación del diseño mecánico

En la fase de implementación del diseño mecánico, se realiza la impresión de las piezas diseñadas en el software CAD. Los archivos guardados con la extensión .stl, permite abrirlos en la aplicación PrusaSlicer 2.8.0. Cada archivo .stl se importa en PrusaSlicer 2.8.0, donde se verifica la orientación y el tamaño de la pieza. Luego, se procede a ubicar la pieza en la plataforma virtual, ajustando su posición para maximizar el uso del espacio y asegurar una impresión eficiente.

A continuación, se configura los parámetros de impresión, tales como la altura de capa, el relleno, la velocidad y la temperatura, según el material utilizado (PLA o ABS). Una vez configurados los parámetros, se genera el código G, que contiene todas las directrices necesarias para que la impresora 3D proceda con la impresión. El código G se exporta a una tarjeta microSD, la cual se inserta en la impresora 3D. Esta lee el código G y proceda con la impresión de la pieza, siguiendo las instrucciones proporcionadas para asegurar una impresión precisa.

Este proceso se repite para cada una de las piezas que componen el dispositivo, garantizando que todas las piezas se impriman correctamente y de esta manera se cumplen con las especificaciones del diseño original.

V-E1. Piezas impresas en 3D:

- **Grip/Agarradera** La fabricación de la agarradera se procede con la impresión en 3D de un diseño optimizado para proporcionar una base sólida al dispositivo. Esta pieza se caracteriza por su robustez y funcionalidad, con un compartimento interno destinado a alojar los cables de conexión necesarios. Además, en la parte superior de la agarradera, se ha integrado un soporte específico para la colocación del sensor, permitiendo así la detección precisa de movimientos involuntarios del usuario. La estructura final combina estabilidad y compactación, asegurando que todos los componentes se mantengan firmemente en su lugar durante el funcionamiento del dispositivo.

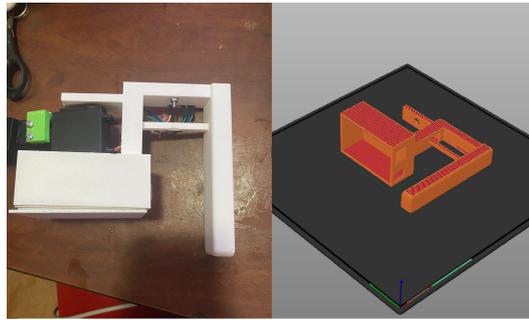


Figura 24. Grip impreso y en el software PrusaSlicer, por K. Scippa y A. Rosales.

- Union de servomotores**

Esta pieza se imprime en 3D con un diseño que maximiza la transmisión de movimientos correctivos entre los dos servomotores. Su estructura está cuidadosamente diseñada para asegurar un alineamiento exacto entre ambos motores, lo que es esencial para el funcionamiento eficiente del dispositivo. Una vez fabricada, esta conexión permite que las correcciones de movimiento se realicen de manera fluida y precisa, optimizando el rendimiento del sistema en su conjunto.



Figura 25. Union de servomotores impresa y en el software PrusaSlicer, por K. Scippa y A. Rosales.

- Acople** El acople para el servomotor final es un componente crucial, fabricado mediante impresión 3D con un enfoque en la precisión y estabilidad. Este elemento es responsable de transmitir los movimientos generados por el servomotor al soporte del vaso, asegurando una respuesta precisa conforme a las instrucciones del controlador. El diseño del acople ha sido meticulosamente calibrado para garantizar una fijación sólida, eliminando cualquier posibilidad de holgura o desalineación. Este nivel de exactitud es fundamental para mantener la estabilidad del dispositivo durante su operación.



Figura 26. Acople impreso y en el software PrusaSlicer, por K. Scippa y A. Rosales.

- **Soporte para el vaso** El soporte para el vaso es una pieza vital en la funcionalidad del dispositivo, diseñada con la finalidad de sostener de manera segura el vaso utilizado por el usuario. Fabricada mediante impresión 3D, esta pieza se conecta directamente al acople del servomotor final, lo que permite que el vaso se mantenga en perfecta sincronía con los movimientos correctivos del dispositivo estabilizador. Su diseño robusto garantiza que el vaso permanezca en su lugar sin desplazamientos indeseados, asegurando así una experiencia de uso segura y confiable para el usuario.



Figura 27. Soporte impreso y en el software PrusaSlicer, por K. Scippa y A. Rosales.

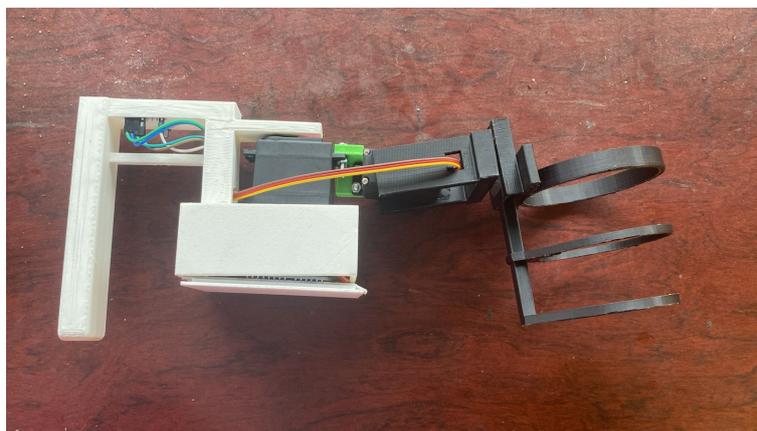


Figura 28. Prototipo del Dispositivo impreso completamente

V-E2. Implementación del circuito y programación: En la fase de implementación electrónica, se llevó a cabo la conexión de todos los componentes del dispositivo, asegurando su correcta integración y funcionamiento. El montaje del circuito, se procede con la conexión del Arduino, los servomotores MG996R, y el sensor MPU6050.

El Arduino, con su diseño de placa y sus pines de fácil acceso, proporciona una solución más práctica y flexible para las conexiones del sistema, facilitando el ensamblaje y la depuración del circuito. El rendimiento del dispositivo no se vio comprometido, y el Arduino cumplió con todos los requisitos necesarios para el control del sistema de estabilización, esto genera que el uso de un driver PCA no sea necesario.

La alimentación del Arduino se la proporciona a través de una fuente de 5V, que también alimenta el sensor MPU6050 y los servomotores puesto que se implementa un puente en una baquelita perforada, para que así todos los pines de alimentación estén de un lado siendo alimentados por el Arduino. Los servomotores MG996R requieren una alimentación de 5V y tienen un consumo de corriente de aproximadamente 1A cada uno durante toda la operación.

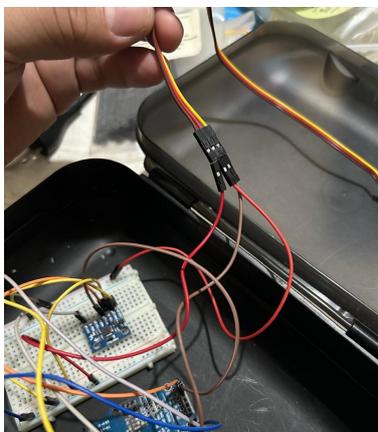


Figura 29. Circuito inicial interno del dispositivo, por K. Scippa y A. Rosales.

El ensamblaje del circuito se realiza utilizando una placa de baquelita perforada junto con cables jumpers de conexión, siguiendo el diseño previamente mencionado. Los servomotores se integran en los pines de salida PWM del Arduino (pines 5 y 6, respectivamente), lo que permite un control preciso de la posición.

El sensor MPU6050 se conecta a los pines de comunicación I2C del Arduino (A4 y A5), específicamente los pines SDA y SCL, para la transmisión de datos. Una vez realizada la conexión física de todos los componentes, se procede a la programación del Arduino.

El código cargado en el Arduino establece la comunicación con el sensor MPU6050 para leer los datos de movimiento y enviar señales de control a los servomotores para ajustar la posición del vaso en función de los datos recibidos. El funcionamiento del dispositivo se inicia con la encendida, cuando el Arduino comienza el proceso de configuración y calibración del sensor MPU6050, estableciendo las referencias necesarias para detectar los movimientos involuntarios. El sensor MPU6050 mide la aceleración y la velocidad angular en los ejes X, Y y Z, enviando estos datos al Arduino a través de la comunicación I2C.

El Arduino procesa los datos recibidos del sensor utilizando el controlador PID, ajustando los valores de KP, KI y KD para corregir los movimientos involuntarios del usuario. Basado en este procesamiento, el Arduino procede a enviar señales a los servomotores MG996R para ajustar la posición del vaso. Los servomotores se mueven en respuesta a las señales, compensando los movimientos involuntarios del usuario.

A medida que el dispositivo corrige los movimientos, el vaso se mantiene estable, permitiendo al usuario beber con mayor facilidad y confianza. El dispositivo continúa monitorizando los datos del sensor y ajustando el control de los servomotores en tiempo real, asegurando una estabilización continua del vaso durante su uso.



Figura 30. Dispositivo en funcionamiento, por K. Scippa y A. Rosales.

VI. RESULTADOS

Los resultados obtenidos con el dispositivo han sido satisfactorios en términos de desempeño general y cumpliendo con los objetivos establecidos. Durante las pruebas simuladas, el dispositivo obtiene estabilizar el vaso de manera efectiva. Estos resultados evidencian la eficacia del diseño y la implementación del sistema de estabilización en condiciones simuladas.

Por razones de tiempo se realizaron simulaciones de los movimientos en lugar de pruebas con pacientes reales. Los servomotores respondieron adecuadamente a los movimientos simulados, y la sincronización entre el sensor MPU6050 y los servomotores permitió que el dispositivo compense los movimientos involuntarios en tiempo real. Esto asegura que el sistema posee el potencial para funcionar de manera fluida y confiable en un entorno controlado.

Es importante señalar que futuras pruebas con pacientes reales pueden revelar la necesidad de ajustes adicionales. Estas pruebas son esenciales para confirmar la efectividad del dispositivo en condiciones reales de uso y para realizar las modificaciones que empleen en la optimización de su rendimiento en escenarios prácticos.



Figura 31. Dispositivo funcionando y estabilizado, por K. Scippa y A. Rosales.

VII. CRONOGRAMA

A continuación se muestra el cronograma de trabajo

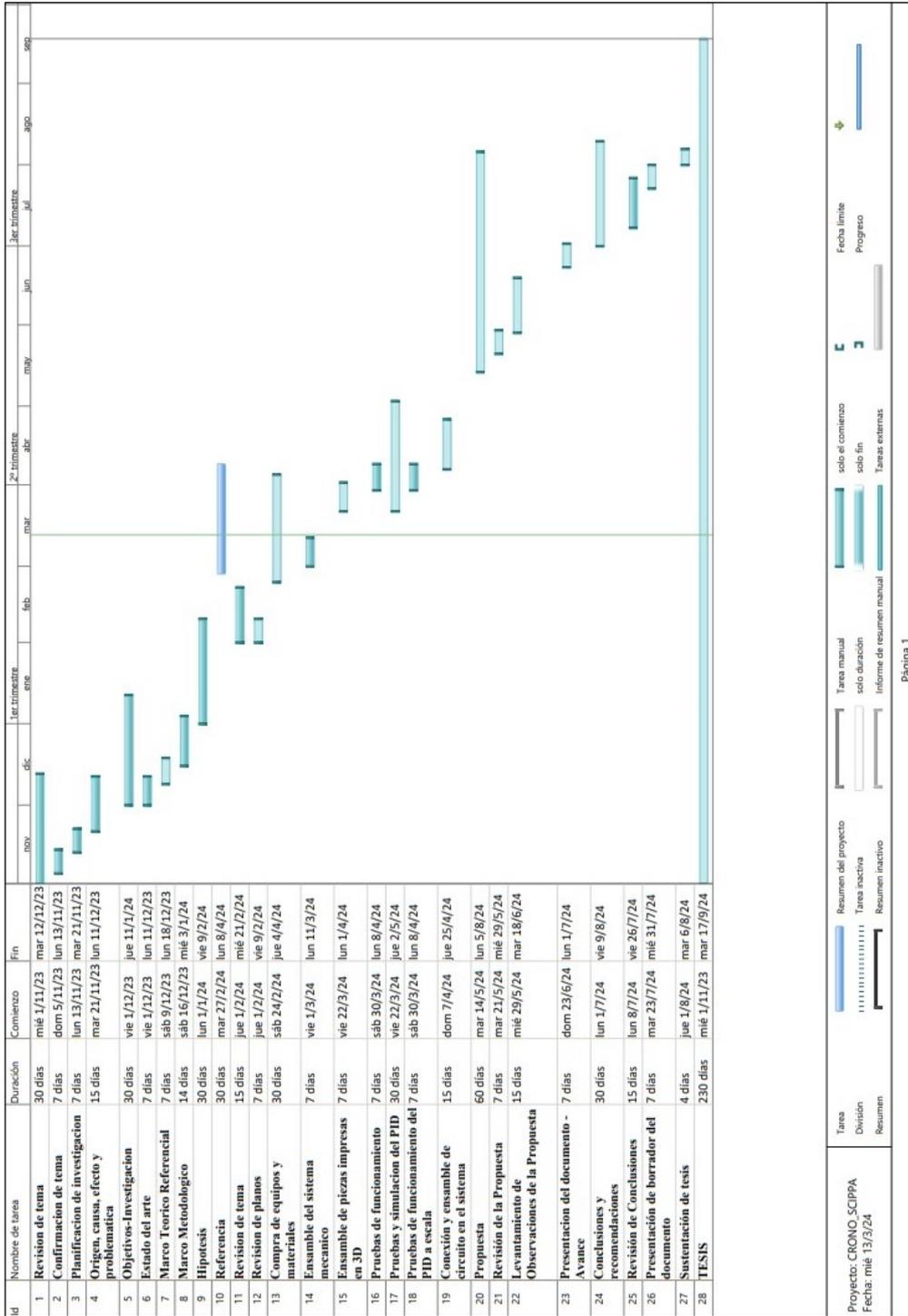


Figura 32. Cronograma de actividades, por K. Scippa y J, Rosales

VIII. PRESUPUESTO

Tabla I
PRESUPUESTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN SOLO DISPOSITIVO

Componentes	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Agarradera	1	23.80	23.80
Soporte de Servomotor	1	4.70	4.70
Soporte del Vaso	1	12.50	12.50
Unión	1	1.80	1.80
Tapa para el Arduino	1	5	5
Tapa del MPU 6050	1	4.50	4.50
Arduino	1	20	20
Servomotor	2	9.50	19
MPU 6050	1	8.50	8.50
Tornillos con tuercas milimétricos	8	0.05	0.40
Cables	20	0.15	3
Total empleado	38	90.5	103.20

VIII-1. Costos de fabricación para un dispositivo:

Tabla II
GASTOS DE IMPRESIÓN PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

Pieza	Cantidad	Filamento empleado (g)	Tiempo de Impresión (min)	Costo de Impresión (USD)
Agarradera	2	148.92	610	47.50
Soporte de Servomotor	4	53.36	292	18.50
Soporte del Vaso	2	70.28	430	25
Unión	3	8.16	69	3.50
Tapa para el Arduino	1	16.25	51	5
Tapa del MPU 6050	1	14.22	44	4.50
Total empleado	13	311.19	1.496	104

VIII-2. Costos de impresión de todo el proyecto:

IX. CONCLUSIONES

El desarrollo del dispositivo estabilizador para la ingesta de bebidas ha alcanzado el objetivo principal de funcionamiento adecuado. El prototipo, diseñado para asistir a personas con desórdenes de movimiento en las extremidades superiores, ha demostrado operar correctamente según los parámetros establecidos. La integración del controlador Arduino con el sistema PID ha permitido que el dispositivo mantenga el vaso en una posición estable.

La construcción del dispositivo implica una planificación y ejecución de diversas fases, incluyendo el diseño mecánico, electrónico y la implementación de los mismos. Las piezas fueron diseñadas en software CAD y ensambladas con precisión, mientras que la programación y las conexiones eléctricas fueron ajustadas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. El dispositivo logró operar de manera efectiva, lo que confirma que las etapas de diseño y ensamblaje fueron ejecutadas adecuadamente.

Los resultados obtenidos son alentadores, demostrando el potencial de este dispositivo para mejorar la calidad de vida de personas con patologías relacionadas al control de sus extremidades superiores. Aunque el sistema presenta un ligero margen de mejora, ya sienta una base sólida para futuras investigaciones e innovaciones en este campo, con la posibilidad de adaptar esta tecnología a diferentes necesidades y condiciones médicas.

X. RECOMENDACIONES

Para mejorar el desempeño del dispositivo estabilizador, se recomienda optimizar los parámetros del controlador PID para aumentar la rapidez de respuesta y reducir el margen de error en la estabilización del vaso. Además, la integración de sensores adicionales, podría proporcionar datos complementarios que optimicen la precisión y adaptabilidad del sistema en diversas situaciones.

Otro punto clave para la innovación es la reducción de tamaño del dispositivo y la implementación de un diseño más ergonómico, que facilite su uso y comodidad para el usuario final. Para lograr un mayor margen de éxito, es vital ampliar las pruebas del dispositivo en diferentes condiciones de uso y con un grupo de usuarios que presenten patologías con trastornos de movimientos en extremidades superiores, lo que permite ajustar el sistema para garantizar su fiabilidad y eficiencia en una variedad de escenarios.

Para finalizar, se sugiere explorar la creación e implementación de una aplicación complementaria que permita a los usuarios monitorear y ajustar los parámetros del dispositivo en tiempo real. Además, investigar fuentes de energía alternativas, como baterías o energía solar, podría aumentar la autonomía del dispositivo. La implementación de programas de capacitación y soporte técnico continuo asegura que los usuarios y sus cuidadores puedan maximizar los beneficios del dispositivo, garantizando su correcto uso.

REFERENCIAS

- [1] O. M. de la Salud, *Enfermedad de Parkinson*, 2022. dirección: <https://www.who.int/news/item/14-06-2022-launch-of-who-s-parkinson-disease-technical-brief>.
- [2] A. van der Heide, E. Specker, L. Borm, G. De Haan y M. Speelman, «Impact of Daily Drinking Difficulties on Quality of Life in Parkinson's Disease,» *Movement Disorders Clinical Practice*, vol. 3, n.º 1, págs. 79-84, 2016.
- [3] M. Makhoul, R. Friedenberg, J. Lesage y D. Jett, «Nonmotor Symptoms in Parkinson Disease,» *The American Journal of Medicine*, vol. 135, n.º 2, págs. 232-238, 2022.
- [4] M. Pringsheim, N. Jette, A. Frolkis y T. Steeves, «The prevalence of Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis,» *Movement disorders*, vol. 29, n.º 13, págs. 1583-1590, 2014.
- [5] F. Raggi, F. Sveinbjornsdottir y K. Odinsson, «Assessment and Management of Motor and Non-Motor Symptoms in Parkinson's Disease,» *Geriatrics*, vol. 5, n.º 4, pág. 87, 2020.
- [6] K. Chaudhuri y A. Schapira, «Non-motor symptoms of Parkinson's disease: dopaminergic pathophysiology and treatment,» *Lancet Neurology*, vol. 8, n.º 5, págs. 464-474, 2009.
- [7] E. Louis y R. Ottman, «How Many People in the USA Have Essential Tremor? Deriving a Population Estimate Based on Epidemiological Data,» *Tremor and Other Hyperkinetic Movements*, vol. 4, 2014.
- [8] V. G. Rodriguez, A. G. Utrilla y J. M. Jimenez, *Guía de buena practica clinica en trastornos del movimiento*. International Marketing y Communications, 2005.
- [9] M. P. Rojas, *Praxias: ¿Cómo el cerebro interviene en el movimiento?* 2019.
- [10] C. A. NÚÑEZ PERALTA, *PERFIL CLÍNICO DE LA ENFERMEDAD DE PARKINSON EN EL SERVICIO DE NEUROLOGÍA DEL HOSPITAL NACIONAL ALBERTO SABOGAL SOLOGUREN*, 2014.
- [11] e. Jankovic J et al., «Parkinson disease and other movement disorders.,» 2021. dirección: <https://www.clinicalkey.com..>
- [12] M. Bannasar, Y. Hicks, S. Clinch et al., «Automated Assessment of Movement Impairment in Huntington's Disease,» *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 26, n.º 10, págs. 2062-2069, 2018.
- [13] S. Guzman Simon, *Análisis de la herencia epigenética en trastornos neurológicos*, www.tdx.cat, 2023.
- [14] M. G. Orjuela-Rojas Barrios Vincos, *Neuropsychiatry Of Movement Disorders*, 2017.
- [15] y. J. A. M. J. V. Manuel. González Rodríguez A. J. González Utrilla, *Guía de buena práctica clínica en trastornos del movimiento*, International Marketing Communication, 2005., 2010. dirección: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.kiaranet.anapar&pli=1>.
- [16] S. G. Aranda, *¿Qué es el Parkinson? Síntomas y tratamiento con fisioterapia*, 2021.
- [17] C. A. Núñez Peralta, *UNIVERSIDAD RICARDO PALMA*, 2014.
- [18] S. Iraola Guzmán, «Análisis de la herencia epigenética en trastornos neurológicos,» *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation*, 2012. dirección: www.tdx.cat.
- [19] A. Wali, A. Ali, F. Asmida, A. Razak y N. Hayima, «Automated Assessment of Movement Impairment in Huntington's Disease,» *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation*, vol. 26, n.º 10, págs. 2062-2069, 2018.
- [20] A. health care, *Enfermedad de Huntington*, 2021.
- [21] A. Pathak, *LIFTWARE*, Lift Labs of Verily Life Sciences LLC, 2013. dirección: <https://www.liftware.com/steady/>.
- [22] C. M. Chris Peacock, *handSteady*, 2015. dirección: [https://handsteady.com/en/..](https://handsteady.com/en/)
- [23] L. V. GmbH, *StudyMyTremor*, 2016. dirección: <https://apps.apple.com/us/app/studymytremor/id533088021>.
- [24] T. M. Elektronik, *¿Cómo funciona y qué hace el acelerómetro?* 2020. dirección: <https://www.tme.eu/es/news/library-articles/page/22568/Como-funciona-y-que-hace-el-acelerometro>.
- [25] naylamp mechatronics, *Módulo Acelerómetro y giroscopio MPU6050*, 2016. dirección: https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html.
- [26] ElectorPak, *Servo Motor MG996R Tower Pro, High Torque Digital Servo*, 2021.

- [27] I. The MathWorks, *Control PID con MATLAB y Simulink*, 2023. dirección: <https://www.mathworks.com/help/control/ug/control-pid-with-matlab-and-simulink.html>.
- [28] M. G. M. PINCAY, *DISEÑO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS PROGRAMABLES CON MICROCONTROLADORES PIC DE GAMA MEDIA PARA EL LABORATORIO DE ROBÓTICA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN Y REDES*, 2020.
- [29] N. M. SAC, *Ejes del MPU6050*, 2023. dirección: https://naylampmechatronics.com/blog/45_tutorial-mpu6050-acelerometro-y-giroscopio.html.

APÉNDICE A
PLANOS

Planos de las piezas acotadas en Fusion 360:

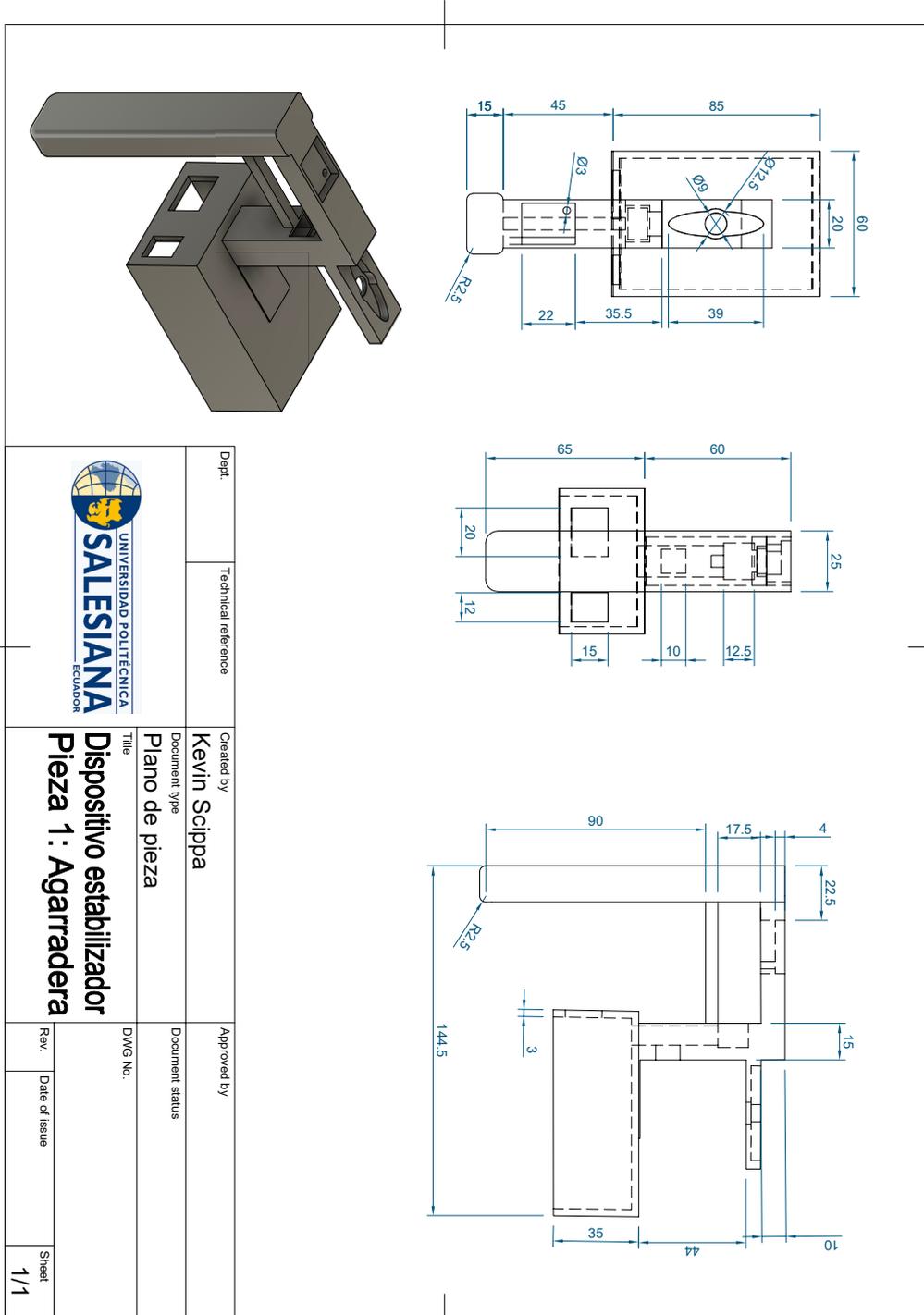


Figura 33. Lámina acotada de Agarradera, por K. Scippa y A. Rosales, Autodesk Fusion 360

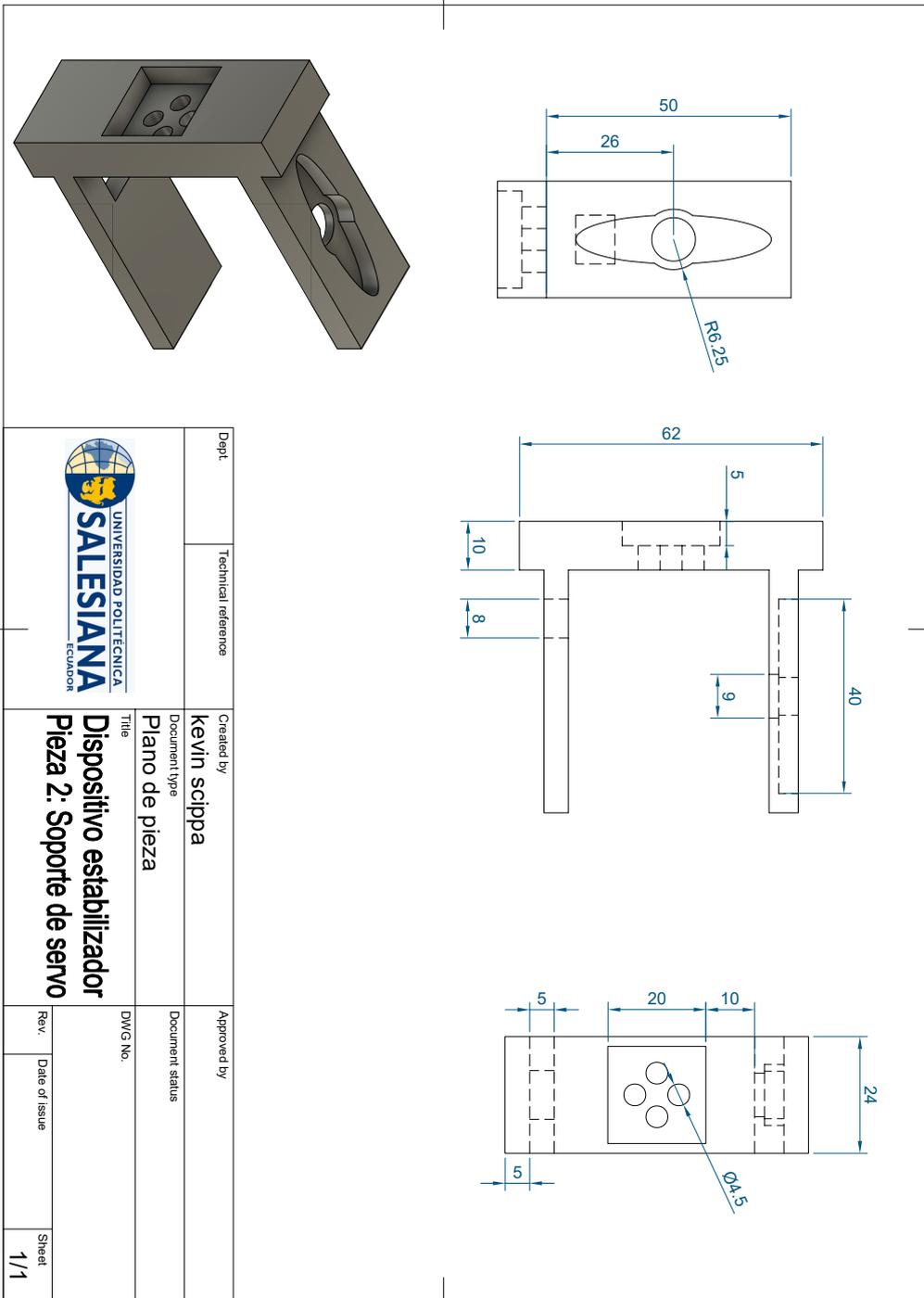


Figura 34. Lámina acotada de Soporte de servomotor, por K. Scippa y A. Rosales, Autodesk Fusion 360

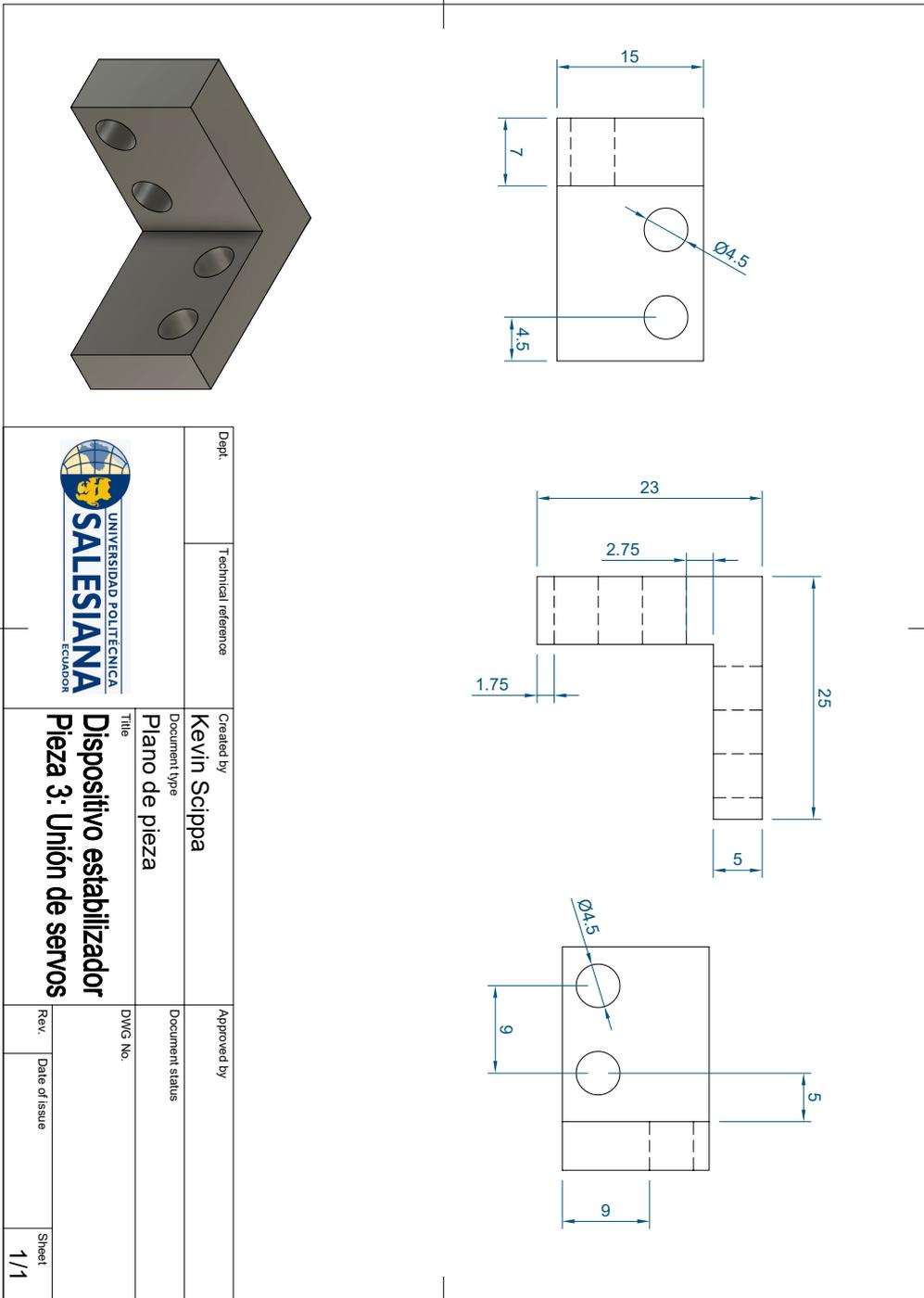


Figura 35. Lámina acotada de Unión de servomotores, por K. Scippa y A. Rosales, Autodesk Fusion 360

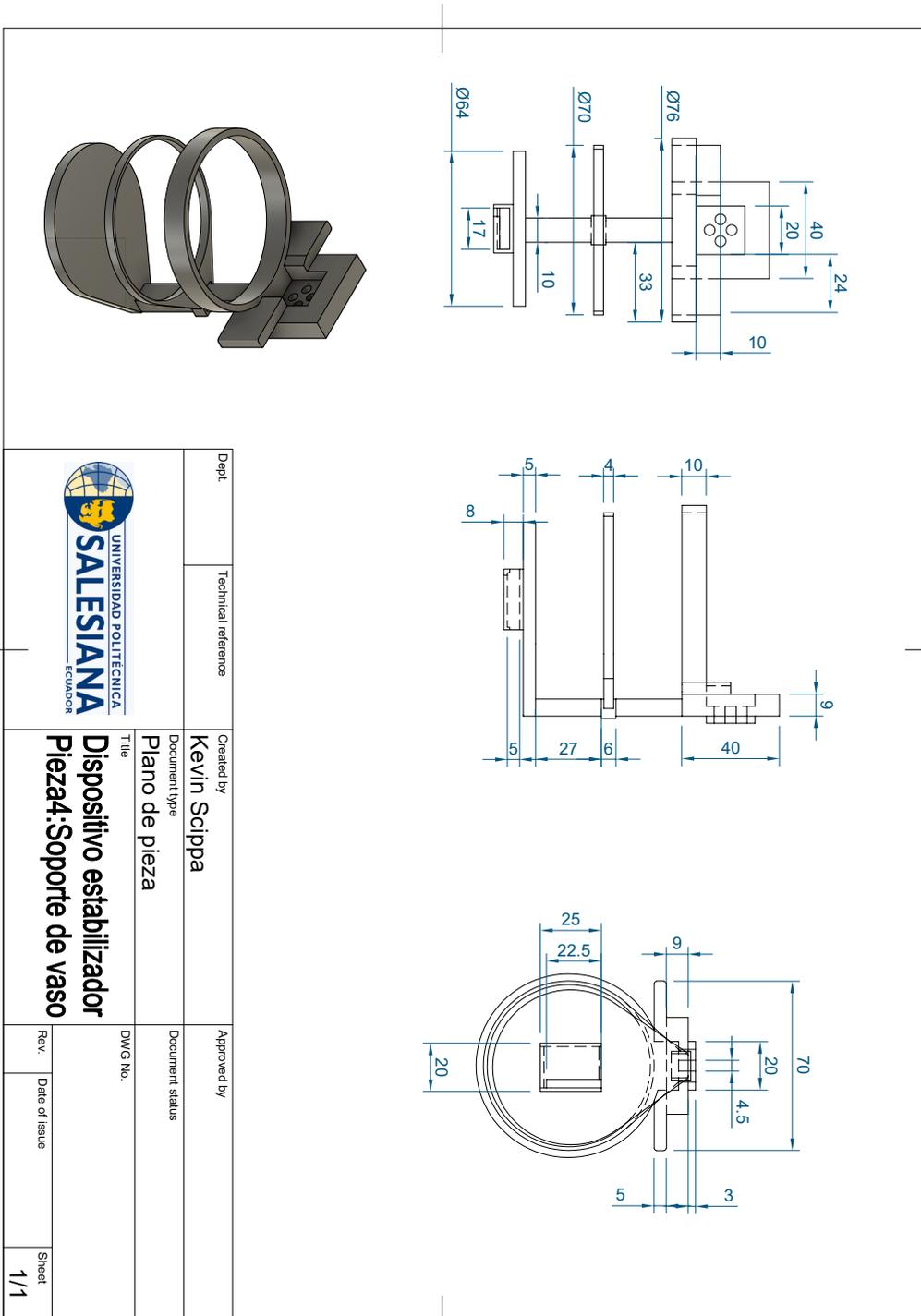


Figura 36. Lámina acotada de Soporte para el vaso, por K. Scippa y A. Rosales, Autodesk Fusion 360

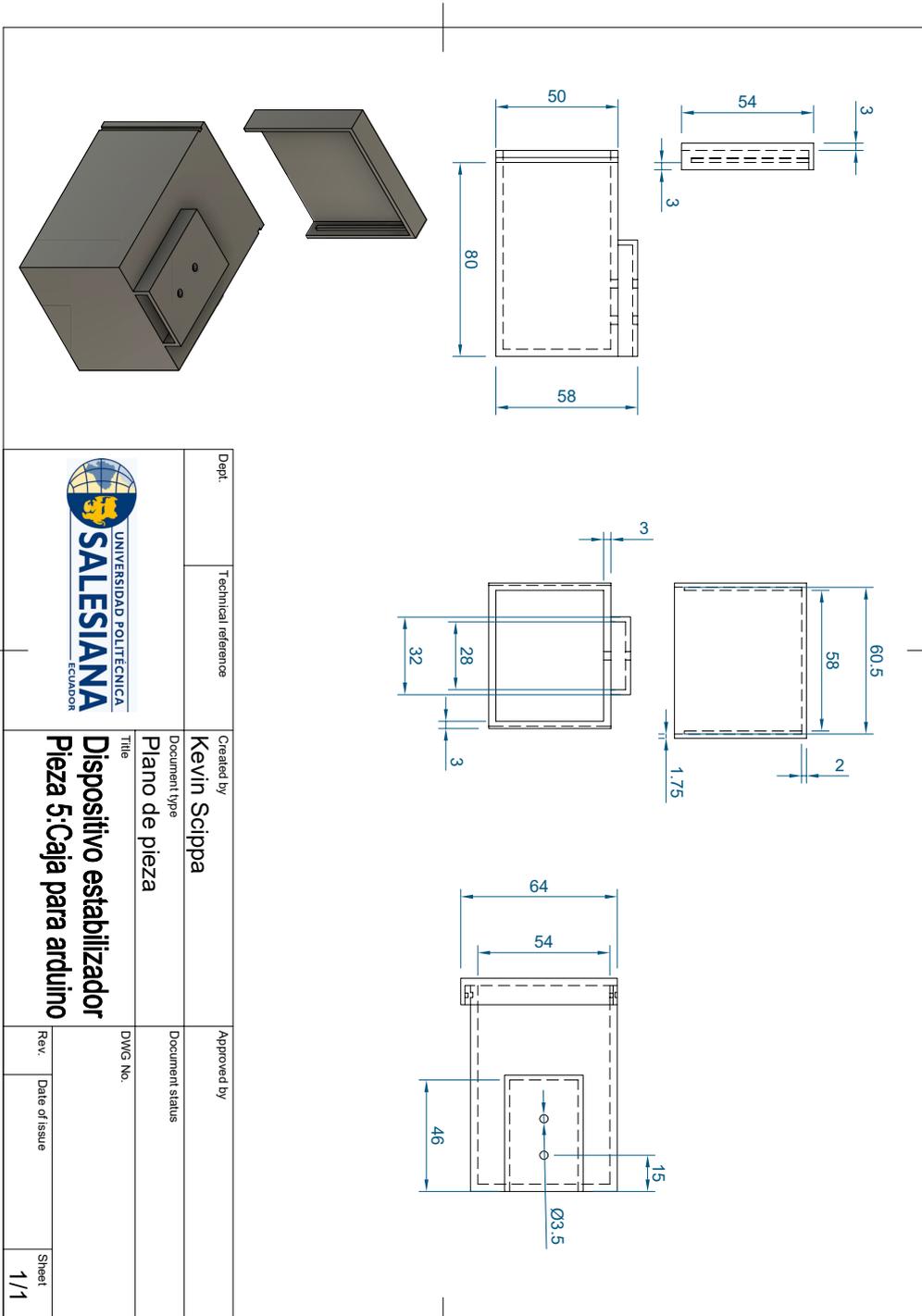


Figura 37. Lámina acotada de caja de arduino, por K. Scippa y A. Rosales, Autodesk Fusion 360

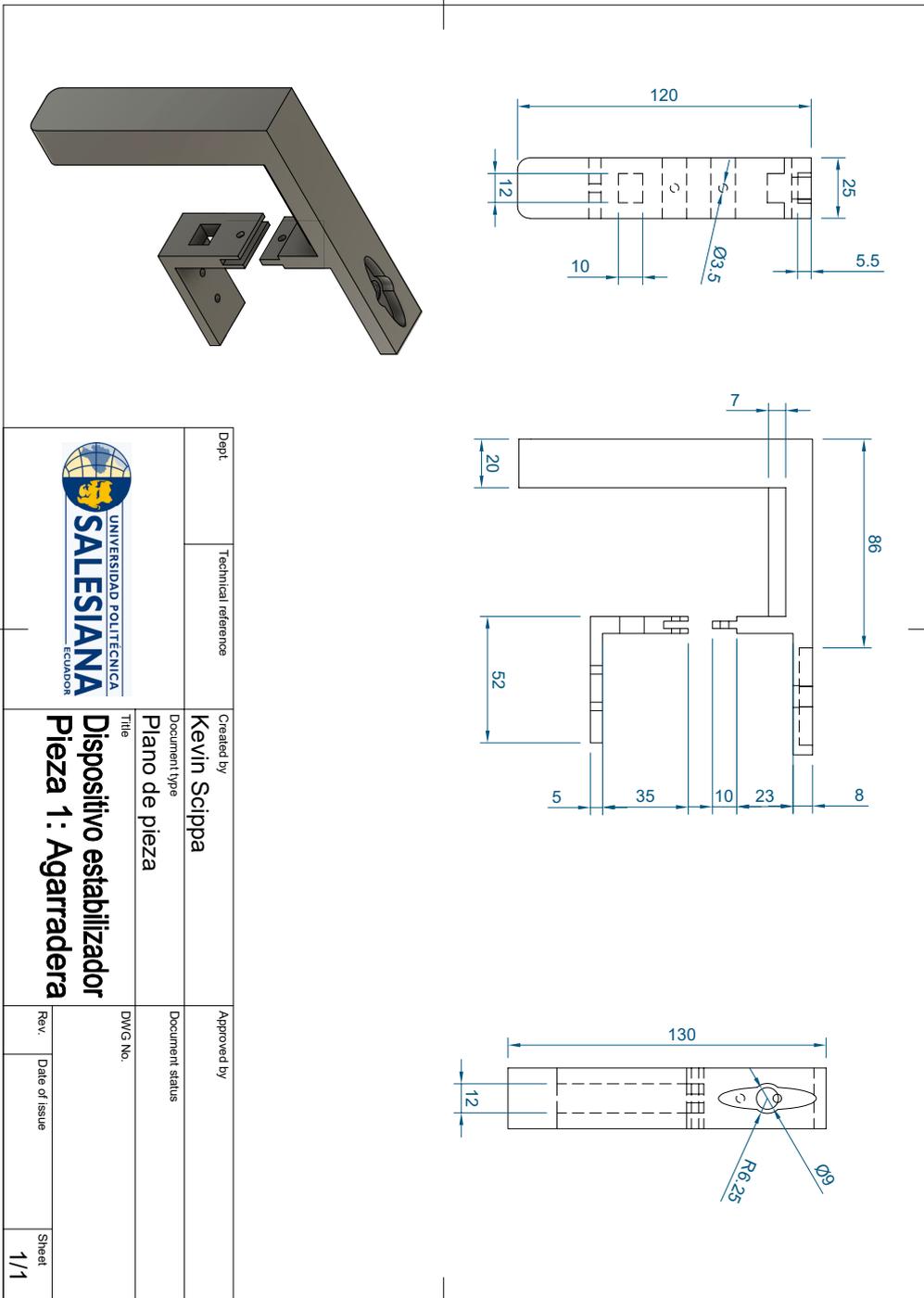


Figura 38. Lámina acotada de Agarradera 2.0, por K. Scippa y A. Rosales, Autodesk Fusion 360

APÉNDICE B
CÓDIGO ARDUINO

```
#include <Wire.h>
#include <Servo.h>
#include <PID_v1_bc.h>

Servo servo1;
Servo servo2;

#define MPU 0x68 // Dirección I2C del MPU-6050
#define A_R 16384.0
#define G_R 131.0
#define RAD_A_DEG 57.295779

// Variables de IMU
int16_t AcX, AcY, AcZ, GyX, GyY;
float Acc[2], Gy[2], Angle[2];

// Variables PID
//double SetpointX, SetpointY, InputX, InputY, OutputX, OutputY;
//double Kp = 1.4, Ki = 1.2, Kd = 0.8; // Constantes PID ajustadas
//double Kp = 0.9, Ki = 0.8, Kd = 0.6; // Constantes PID ajustadas
//double Kp = 2.0, Ki = 1.5, Kd = 0.8; // Constantes PID ajustadas
//double Kp = 2.3, Ki = 1.4, Kd = 0.6; // Constantes PID ajustadas
//double Kp = 2.0, Ki = 1.0, Kd = 0.8; // Constantes PID ajustadas
//double Kp = 2.0, Ki = 1.0, Kd = 0.8; //Constantes PID ajustadas
//double Kp = 2.4, Ki = 9.0, Kd = 0.8; // Constantes PID ajustadas
//double Kp = 2.0, Ki = 1.2, Kd = 0.6; // Constantes PID ajustadas
//double Kp = 2.0, Ki = 1.2, Kd = 0.7; // Constantes PID ajustadas
//double Kp = 2.0, Ki = 1,2, Kd = 0.6; // Constantes PID ajustadas
//double Kp = 2.0, Ki = 1.2, Kd = 0.6; // Constantes PID ajustadas
//double Kp = 2.0, Ki = 0.8, Kd = 0.8; // Constantes PID ajustadas
//double Kp = 2.1, Ki = 0.8, Kd = 0.8; // Constantes PID ajustadas
//double Kp = 2.1, Ki = 1.1, Kd = 0.8; //Constantes PID ajustadas
//double Kp = 2.1, Ki = 1.0, Kd = 0.7; //Constantes PID ajustadas
double Kp = 2.0, Ki = 1.0, Kd = 0.8; // Constantes PID ajustadas

// Instancias de PID
PID pidX(&InputX, &OutputX, &SetpointX, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
PID pidY(&InputY, &OutputY, &SetpointY, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

void setup() {
  Wire.begin();

  // Inicializar MPU-6050
  Wire.beginTransmission(MPU);
  Wire.write(0x6B);
  Wire.write(0);
  Wire.endTransmission(true);
}
```

```

// Inicializar servos
servo1.attach(5);
servo2.attach(6);

// Configuración de PID
pidX.SetMode(AUTOMATIC);
pidY.SetMode(AUTOMATIC);

Serial.begin(19200); // Inicializar comunicación serie
}

void loop() {
// Leer datos del acelerómetro
Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x3B);
Wire.endTransmission(false);
Wire.requestFrom(MPU, 6, true);
AcX = Wire.read() << 8 | Wire.read();
AcY = Wire.read() << 8 | Wire.read();
AcZ = Wire.read() << 8 | Wire.read();

// Imprimir valores del acelerómetro para verificar
Serial.print("AcX: "); Serial.print(AcX);
Serial.print(" AcY: "); Serial.print(AcY);
Serial.print(" AcZ: "); Serial.println(AcZ);

// Calcular ángulos del acelerómetro
Acc[1] = atan2(-AcX / A_R, sqrt(pow(AcY/A_R, 2) + pow(AcZ / A_R, 2)))* RAD_A_DEG;
Acc[0] = atan2(AcY / A_R, sqrt(pow(AcX/A_R, 2) + pow(AcZ / A_R, 2)))* RAD_A_DEG;

// Leer datos del giroscopio
Wire.beginTransmission(MPU);
Wire.write(0x43);
Wire.endTransmission(false);
Wire.requestFrom(MPU, 4, true);
GyX = Wire.read() << 8 | Wire.read();
GyY = Wire.read() << 8 | Wire.read();

// Imprimir valores del giroscopio para verificar
Serial.print("GyX: "); Serial.print(GyX);
Serial.print(" GyY: "); Serial.println(GyY);

// Cálculo de velocidad angular del giroscopio
Gy[0] = GyX / G_R;
Gy[1] = GyY / G_R;

// Filtro complementario:
aumentar el peso del acelerómetro para detectar mejor inclinaciones grandes
Angle[0] = 0.90 * (Angle[0] + Gy[0] * 0.01) + 0.10 * Acc[0];

```

```

Angle[1] = 0.90 * (Angle[1] + Gy[1] * 0.01) + 0.10 * Acc[1];

// Establecer los setpoints (posición deseada del vaso)
SetpointX = 0; // El vaso debe estar horizontal
SetpointY = 0;

// Actualizar entradas para el PID
InputX = Angle[0];
InputY = Angle[1];

// Verificar los valores de InputX e InputY
Serial.print("InputX: "); Serial.print(InputX);
Serial.print(" InputY: "); Serial.println(InputY);

// Computar el PID para ajustar la salida
pidX.Compute();
pidY.Compute();

// Limitar valores de salida para los servos
OutputX = constrain(OutputX, -100, 100);
OutputY = constrain(OutputY, -100, 100);

// Mapear las salidas de PID a los rangos de los servos
int val1 = map(OutputX, -100, 100, 45, 135);
int val2 = map(OutputY, -100, 100, 45, 135);

// Enviar comandos a los servos
servo1.write(val1);
servo2.write(val2);

// Imprimir valores de Output para depuración
Serial.print("OutputX: "); Serial.print(OutputX);
Serial.print(" OutputY: "); Serial.println(OutputY);

// Pequeño retraso para evitar saturar el bus de datos
delay(10);
}
}

```