



Universidad Modelo

Escuela de ingeniería

Ingeniería Biomédica

**SISTEMA DE APOYO PARA BAJA MOVILIDAD DE
MIEMBROS INFERIORES**

Asignatura: Proyectos IV

Ing. Ariana Marilyn Sánchez Mutul

Elaborado por:

Cruz Hoil Ramón Jesús

Gorocica Vargas Mariajósé

Morales Pérez Diego José

Mérida, Yucatán

07 de mayo de 2024

4to Semestre

Grupo A

SISTEMA DE APOYO PARA BAJA MOVILIDAD DE MIEMBROS INFERIORES

Introducción

Los dispositivos diseñados para asistir a las personas con discapacidad motora usualmente están fuera del alcance de ellas, puesto que el darles un mantenimiento adecuado es un tanto complicado, además de que la mayoría de estos generan incomodidad o se podrían considerar incómodos para su uso, teniendo piezas rígidas que limitan aún más la movilidad de los individuos. Las nuevas generaciones de robots de servicio no pueden continuar dependiendo de estructuras no flexibles, cuyo desempeño y sistema de seguridad descansa únicamente en la estrategia de control, tal como fueron ideados los robots industriales. La morfología, las propiedades de los materiales que lo componen y el entorno en el que se encuentra, son factores de suma importancia al momento de diseñar robots con la versatilidad, adaptabilidad, eficiencia y seguridad que reclaman las nuevas aplicaciones. Las nuevas generaciones de dispositivos no pueden continuar dependiendo de estructuras rígidas, cuyo desempeño y sistema de seguridad descansa únicamente en la estrategia de control, tal como fueron ideados los robots industriales. La morfología, las propiedades de los materiales que lo componen y el entorno en el que se encuentra, son factores de suma importancia al momento de diseñar robots con la versatilidad, adaptabilidad, eficiencia y seguridad que reclaman las nuevas aplicaciones.

Es por ello que hoy en día, el término “soft robot” está siendo utilizado para identificar a robots con características morfológicas y constitutivas no convencionales, implementando materiales suaves y deformables al campo de la robótica tradicional. Las ventajas de la sustitución de materiales rígidos por materiales flexibles, en la robótica, son inmensas; ya que brindan un rango de movilidad más amplio a los dispositivos y hacen su interacción con el ser humano más placentera y segura. El diseño de la mayoría de los dispositivos y robots, en Soft Robotics, están basados en la imitación de diversos aspectos de la naturaleza, más prevalentemente, los animales. Esta práctica es también conocida como biomimesis.

Un comportamiento bastante funcional para este tipo de situación es la viscoelasticidad, el cual es reológico anelástico, que presentan ciertos materiales que exhiben tanto propiedades viscosas como propiedades elásticas cuando se deforman. Según la tesis del Ing. Rodrigo Daniel Solís Ortega, la implementación de la viscoelasticidad es posible mediante la búsqueda de materiales los cuales se asemejan más a dicha característica en nuestros propios músculos. Los problemas que se encuentran al momento de implementar esta tecnología son el poder computacional que requiere el modelar este tipo de materiales y encontrar un equivalente matemático para simular su acción como actuadores, para así identificar el mejor candidato.

Pese a esto existen algunos sustitutos que nos permiten hasta cierto modo recrear el funcionamiento de nuestros músculos. En la tesis del Ing. Adolfo Hilario Caballero se menciona el uso de un tubo de caucho el cual se encuentra cubierto por una malla fibrosa y tensada, el cual por uno de sus extremos se encuentra cerrado mediante una placa en donde se aplicará la fuerza al exterior, mientras que en el otro extremo se encuentra la válvula de regulación que hincha o desinfla el tubo. Esto nos ayuda a comprender la forma en que funcionan los músculos artificiales tipo Mckibben. El uso de estos músculos hoy en día tiene distintas aplicaciones como: actuadores de simple efecto, muelle neumático, sistema de posicionamiento sencillo. De forma que las áreas de aplicación más importantes son la automatización industrial y de procesos de fabricación.

En la tesis del Ing. Mauricio Carrillo se llevó a cabo una investigación profunda sobre los músculos neumáticos en base a una ortesis dinámica de pie caído, esto con el propósito de obtener los parámetros funcionales para su aplicación. En el documento se señala la función principal, las anormalidades que poseen, los principales materiales con los que se puede elaborar, divididos entre el encaje y los metales. A su vez se mencionan los principales movimientos del pie, como también las razones por las cuales se puede lesionar. En este documento se encontró mucha información valiosa la cual permitió que el equipo obtenga un mejor entendimiento de lo que puede llegar a hacer y podrá abarcar este proyecto.

Dentro del artículo escrito por la Ing. Mariana Areiza elaboró un estudio el cual abarcó el uso de nylon para la fabricación de músculos artificiales para el funcionamiento de una mano robótica. Para lograrlo se cambió las propiedades físicas del nylon, usando un AMT (Artificial muscle twister) la cual longitudinalmente estira el nylon varias veces lo que provoca un cambio en sus propiedades físicas al realinear las fibras, lo que le otorga una propiedad anisotrópica. Generalmente los polímeros cristalinos, como el nylon, se endurecen al retorcer sus fibras debido a que las cadenas de polímero se orientan longitudinalmente a lo largo de las hélices lo que resalta las fibras. La gran elasticidad de entropía presente en las moléculas de enlace altamente estiradas provoca una expansión térmica negativa en las fibras. En otras palabras, los polímeros cristalinos retorcidos se contraen en presencia de calor.

PROBLEMÁTICA

En un censo realizado por la INEGI en el año 2020, se descubrió que existen alrededor de 6,179,890 personas las cuales sufren de alguna discapacidad física, esto representa 4.9 % de la población total del país. Dentro de este grupo, el 48% de las mismas presentan problemas de movilidad, ya sea caminar, subir y bajar escaleras, entre otros, esto es causado debido a limitaciones o restricciones de movimiento por parte de las extremidades, daño a estas mismas o la falta total de ellas.

Las enfermedades neuromusculares son un grupo muy amplio y complejo de más de 150 patologías que provocan pérdida de la fuerza muscular, por lo que generan diferentes discapacidades, algunas de ellas bastante severas.

Estas personas dependen de factores externos para asistir su movimiento y así lograr realizar su vida cotidiana lo más normal posible, ya sea por medio de andaderas, sillas de rueda, aparatos de apoyo u otras personas. De forma “oficial”, la definición que se ha establecido, a nivel internacional, describe a estos objetos como: “ Cualquier producto (incluyendo dispositivos, equipo, instrumentos, tecnologías y software) fabricado especialmente o disponible en el mercado, para prevenir, compensar, controlar, mitigar o neutralizar deficiencias, limitaciones en la actividad y restricciones en la participación. En otras palabras, se trata de un conjunto de dispositivos que, utilizados por personas con diversidad funcional, pueden ayudar a realizar diferentes actividades, relacionadas con el cuidado personal, movilidad, vestido, actividades domésticas, actividades escolares, juegos, ocio y uso de las nuevas tecnologías. Un producto de apoyo puede ser útil a cualquier persona en determinados momentos. El uso de gafas de lectura, o un audífono, unas muletas o incluso un cepillo de dientes

eléctrico, se podrían considerar diferentes ejemplos de cómo un dispositivo podría ayudar o facilitar el desarrollo de una actividad cotidiana a personas que presentan capacidades y necesidades diversas.

Según la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud de 2001, las personas con discapacidad son aquellas que presentan una o más deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales, lo que puede limitar su participación plena en igualdad de condiciones en diversos entornos sociales. En México, en el año 2010, se estima que había 5 millones 739 mil 270 personas con alguna forma de discapacidad, lo que representa el 5.1% de la población total (INEGI, 2010). La limitación de la movilidad es el principal desafío, ya que el 58.3% de las limitaciones informadas se relacionan con la capacidad para caminar o moverse, seguido por problemas de visión, incluso con el uso de lentes (INEGI, 2010). Esto significa que más de la mitad de la población discapacitada del país presenta problemas de movilidad y requieren de algún tipo de apoyo para poder operar con normalidad.

Por otro lado, la distrofia muscular de las cinturas (LGMD, por sus siglas en inglés) es una enfermedad genética que afecta predominantemente los músculos de la pelvis y los hombros, siendo progresiva en la naturaleza. Los distintos subtipos de LGMD se caracterizan por diferencias en severidad, edad de inicio y modo de herencia. Afecta principalmente los músculos alrededor de la cadera y los hombros (Asociación de Distrofia Muscular, 2011). La variedad en esta distrofia se debe a alteraciones genéticas específicas, afectando inicialmente los músculos cercanos a las cinturas de la pelvis y los hombros, y luego extendiéndose a los músculos de las piernas y los brazos. Los síntomas incluyen debilidad muscular progresiva, dificultades de equilibrio, caídas, dolor, endurecimiento de articulaciones y problemas de movilidad (Distrofia Muscular, 2007; Asociación de Distrofia Muscular, 2011). Las personas con LGMD deben realizar ejercicios específicos diariamente dentro de un rango de movimiento determinado para evitar la rigidez de las articulaciones y para poder tener un mayor movimiento en las articulaciones. A veces se requiere un apoyo externo, ya sea de un dispositivo médico o de una persona, para realizar estos ejercicios de forma correcta.

La infraestructura pública y privada para facilitar el acceso a espacios públicos o privados para personas discapacitadas es deficiente, de acuerdo con la Asociación Mexicana Anne Sullivan (ASOMAS), incluso con propuestas y leyes que fomentan la construcción de estos accesos. Esto hace difícil el acceso a muchos tipos de lugares para las personas con discapacidad motora, lo que se podría considerar como un tipo de discriminación hacia ellas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Elaborar una prueba de concepto de un arnés especializado que aumente la fuerza de los miembros inferiores al momento de la marcha para finales del semestre.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar diversos materiales que sirvan como actuadores para generar fuerza para el final del primer parcial
- Analizar los diversos grupos de músculos, los cuales están relacionados con la marcha, para mediados del segundo parcial.
- Seleccionar los actuadores que generan una mayor cantidad de fuerza para mediados de segundo parcial.
- Diseñar la estructura del arnés para finales del segundo parcial.
- Ensamblar la prueba de concepto basados en los actuadores obtenidos para finales de segundo parcial

HIPÓTESIS

La presente hipótesis argumenta que los actuadores, en este caso servomotores, son la base de control de movimientos dominados y precisos usados con el fin de asistir a la correcta realización de actividades diarias para los usuarios que presenten discapacidad motriz. A diferencia de los métodos convencionales de apoyo estático, el uso de servomotores permitirá el control y ajuste con un enfoque más personalizado a las necesidades, capacidades y preferencias de cada usuario.

Se proyecta que los resultados obtenidos respaldan lo antes mencionado, demostrando que el uso de servomotores para el diseño y elaboración de material de apoyo para personas con discapacidad motriz arroja grandes beneficios y mejoras en la calidad de vida de este sector de la población.

METODOLOGÍA

Para comenzar con la elaboración de este proyecto se investigaron distintos métodos por los cuales se podría realizar de una manera segura, distintos mecanismos que permitieran realizar los movimientos necesarios para que el arnés funcionara de manera óptima sin afectar la salud del usuario.

Una vez terminada la investigación se pudieron encontrar dos métodos que nos serán útiles para lograr el propósito del proyecto, estos fueron el uso de servomotores para el movimiento de las piernas o el uso de músculos tipo Mckibben, las cuales usan un sistema neumático o hidráulico para activarse y desactivarse. Tras seleccionar los métodos a utilizar se comenzó a investigar los materiales que se usarían para su implementación en el arnés. Los resultados que obtuvimos nos hicieron tomar la decisión de descartar el uso de los músculos tipo Mckibben puesto a que estos requieren un nivel muy avanzado de comprensión de distintos temas, mientras que el uso de servomotores facilita mucho su implementación en el arnés. En la presente tabla se puede apreciar un recuento de los materiales utilizados para este sistema (tabla 1.0).

MATERIAL	MARCA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Servomotor 20kg	HONIO	2	\$266.00	\$532.00
Placa de desarrollo nano	Arduino	1	\$219.00	\$219.00
Férula de cadera	Generic	2	\$211.25	\$422.5
Cable para conexiones	Steren	6 m	\$5.00 1 metro	\$30.00
Estaño	Steren	100 gr	\$199.00	\$199.00
Batería de 9V	Duracell	2	\$117.00	\$234.00
Filamento	PLA	N/A	\$40	\$40
Velcro	Parisina	1.5m	\$15.00	\$22.50
				TOTAL \$1699.00

tabla 1.0 Lista de materiales

El presente proyecto consta de las siguientes etapas:

1) Diseño y elaboración de carcasa.

Para el procedimiento del diseño de la carcasa que incluirá el circuito a necesitar, se utilizó el software Fusion 360 apoyándose de la asignatura de Diseño Asistido por Computadora que verificará el correcto desarrollo del mismo. El diseño consta de una caja con las siguientes dimensiones: 5.5cm de largo, 3.3cm de ancho y 2.3cm de alto (imagen 1.0).

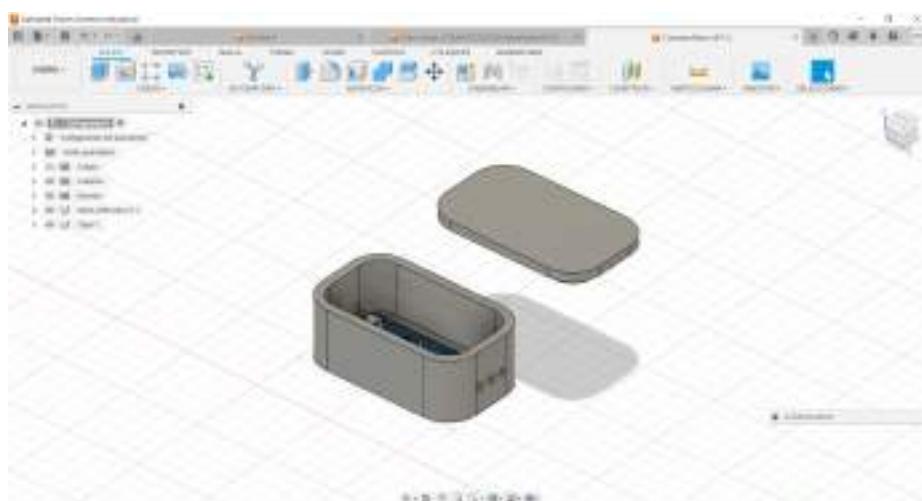


Imagen 1.0 Diseño de la carcasa en el software Fusion 360

Teniendo finalizado y aprobado el diseño, el siguiente paso consta de la impresión 3D y para ello se hizo uso de las instalaciones de la universidad, mandando a imprimir la tapa y el cuerpo de la carcasa al laboratorio de prototipado utilizando un filamento de tipo PLA (imagen 1.1). Este último tiene características como su biodegradabilidad y sostenibilidad, es un material de fácil impresión, su temperatura de impresión está entre los 190 y 210°, baja emisión de olores, variedad de colores y acabados. En este caso es beneficioso para el proyecto debido al sencillo diseño que requiere.



Imagen 1.1 Proceso de impresión 3D

2) Diseño del circuito

En la sección de elaboración y diseño del circuito incluye la simulación del circuito usando el software Multisim para simular el voltaje alimentado a cada uno de los componentes, los cuales son el acelerómetro y el servomotor, este circuito se repetirá 2 veces, uno para cada pierna (imagen 1.2).

Imagen 1.2 Circuito en el software Multisim

3) Diseño del código

Usando el software Arduino IDE, se elaboró un código con el cual se activa el arnés, esto mediante acciones del usuario. Los servomotores también son controlados desde aquí, por lo que se requiere una fuente de alimentación para todos los componentes, esto con el fin de ser completamente autónomo.

En resumen, el código consta de 2 partes, la recepción de información y la respuesta a esta. En la parte de recepción, el arduino capta señales de unos acelerómetros, los cuales dirán si tienen una aceleración positiva o negativa, esos valores luego se almacenan en el arduino para utilizarse en la segunda parte.

La segunda parte consta de la utilización de la información de los acelerómetros para la respuesta de los servomotores, si la información muestra una tendencia positiva, los servos la mostrarán también, en cambio, si muestran una tendencia negativa, los servos invertirán su giro.

4) Incorporación y ensamblaje del circuito con el cuerpo de soporte.

Dentro de esta sección se desarrolla el proceso de ensamblaje de todos los componentes que fueron necesitados. Los servomotores que se decidieron utilizar fueron unos los cuales pudieran soportar en gran medida una contrafuerza ejercida por el usuario, por eso mismo se optó por usar servomotores de 20 kg los cuales pueden ejercer la fuerza suficiente para lograr el movimientos del miembro inferior sin problemas.

Teniendo los soportes de cadera y muslo fue necesario unir las dos piezas con ayuda de una máquina para costurar para obtener una pieza que involucre el funcionamiento en la región femoral y se unifique con un cinturón que abrace la zona de la cadera. Posterior a ello se colocó una pieza de Velcro en la parte inferior de la carcasa que posee la gran parte del circuito, esto para poder ser colocado y asegurado en la zona posterior de la cadera. Se repetirá el procedimiento de colocar una pieza de Velcro en la zona inferior pero ahora en cada uno de los servomotores tanto para la pierna izquierda como en la derecha (imagen 1.3).



Imagen 1.3 Incorporación de los sensores y carcasa al soporte

5) Pruebas de control.

Se realizan pruebas de funcionamiento en los integrantes del equipo, esto para verificar que tanto el código como los componentes físicos funcionen de manera óptima, y realizar ajustes de control si llega a ser necesario. Estas pruebas servirán para verificar que el arnés sea fácil de usar, cómodo para el usuario y, por encima de todo, seguro para este mismo.

Resultados

A continuación se presentan los productos obtenidos en las diferentes etapas del presente proyecto, las cuales son las siguientes:

- a) Piezas impresas en 3D de los diseños previos.
- b) Circuito fisico y código final.
- c) Ensamblaje final del circuito con el arnés e impresiones 3D.

Impresiones en 3D

En esta sección se presentan los diseños finales elaborados mediante el uso del software Fusion 360. En la Figura 1.0 inciso a) se muestra el resultado del disco de sistema de poleas, en el inciso b) se aprecia el gancho de soporte para los servomotores, como tercer elemento podemos encontrar el diseño final de la carcasa (Figura 1.1 (a)) y por último el gancho de soporte para el sistema de poleas en el inciso b).

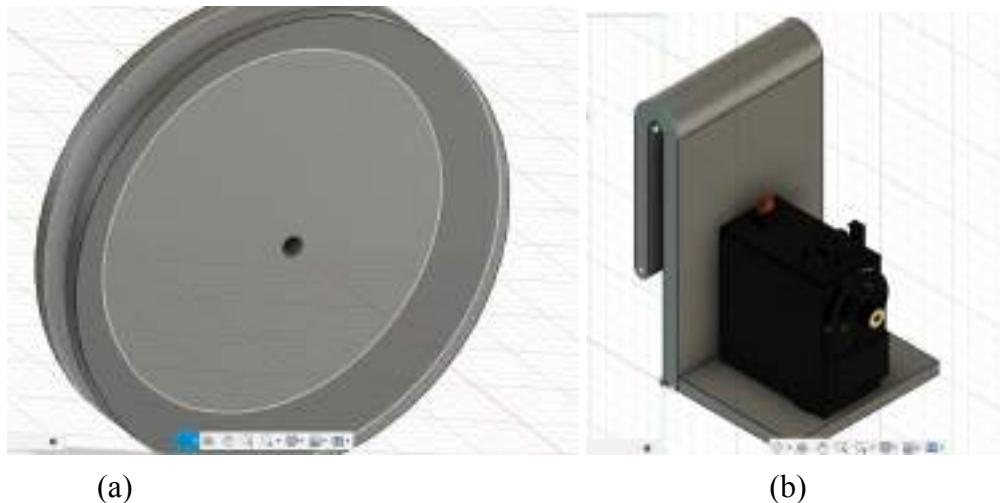


Figura 1.0 Diseños finales del disco de sistema de poleas y gancho de soporte para los servomotores en el software Fusion 360

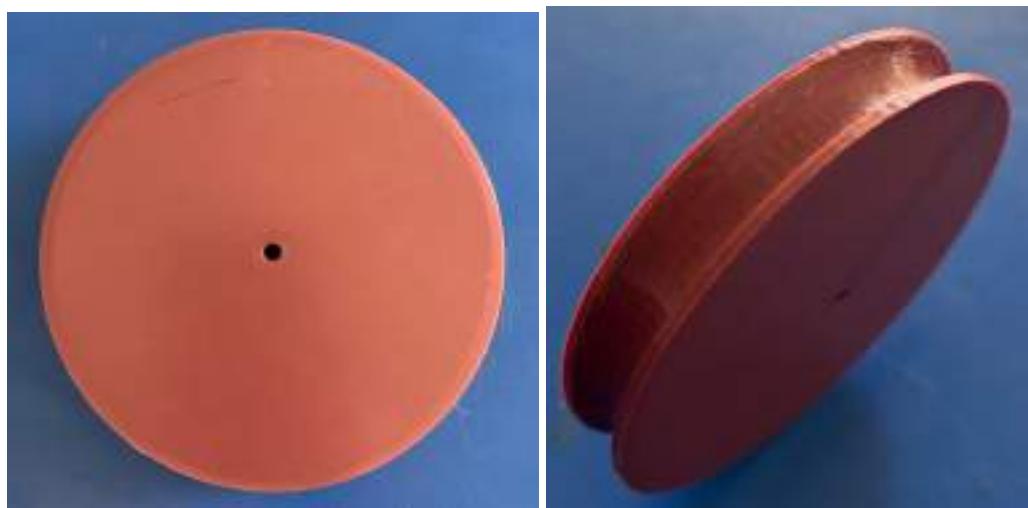


(a)

(b)

Figura 1.1 Diseño final del gancho de soporte para el disco de sistema de poleas y la carcasa del circuito en el software Fusion 360

Con los diseños ya aprobados, estos fueron impresos con filamento PLA y PETG. En la Figura 1.2 se muestra el disco de sistema de poleas y fueron impresas 4 piezas de este diseño con filamento PETG.



a)

b)

Figura 1.2 Impresión del disco de sistema de poleas

La siguiente impresión fue la carcasa del circuito con su respectiva tapa el filamento PLA, véase en la Figura 1.3.



Figura 1.3 Impresión de la carcasa del circuito

En la Figura 1.4 se muestra la impresión del gancho de soporte para el disco de sistema de poleas con el filamento PETG, de este diseño se imprimieron 2 piezas.

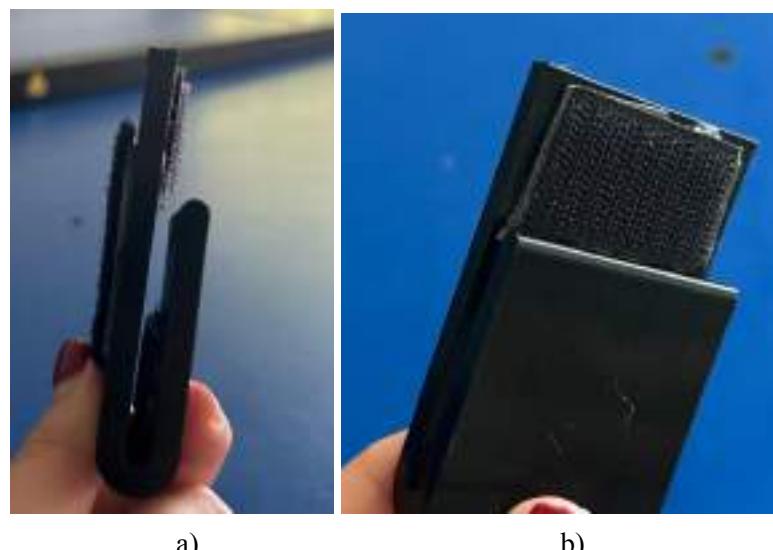


Figura 1.4 Impresión del gancho de soporte para el disco de sistema de poleas

Por último en la Figura 1.5 se muestra la impresión del gancho de soporte para los servomotores con el filamento PETG, de este diseño se imprimieron 2 piezas.



a)

b)

Figura 1.5. Impresión del gancho de soporte para los servomotores

Circuito físico y código final

A continuación, en la Figura 1.6, Figura 1.7 y Figura 1.8 se muestra el código final que hará funcionar a los dos servomotores de 10K mediante un sensor MPU6050 se va a medir la inclinación angular con respecto a posición inicial y posición de recalibración cuando el sensor alcanza cierto nivel de inclinación angular, ya sea positivo o negativo, el sensor se activará con una duración media de 2 segundos.

```
#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050.h"
#include "Wire.h"
#include <Servo.h>

Servo myservo;

MPU6050 sensor;

int ax, ay, az;
int gx, gy, gz;
int pos=0;
int offset;

void setup() {
  Serial.begin(57600);
  Wire.begin();
  sensor.initialize();
  myservo.attach(9);
  if (sensor.testConnection()) Serial.println("Sensor iniciado correctamente");
  else Serial.println("Error al iniciar el sensor");
}
```

Figura 1.6 Código Final

```

void loop() {
    sensor.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
    sensor.getRotation(&gx, &gy, &gz);
    float ax_m_s2 = ax * (9.81/16384.0);
    float ay_m_s2 = ay * (9.81/16384.0);
    float az_m_s2 = az * (9.81/16384.0);
    float gx_deg_s = gx * (250.0/32768.0);
    float gy_deg_s = gy * (250.0/32768.0);
    float gz_deg_s = gz * (250.0/32768.0);
    Serial.print("a[x y z](m/s^2) g[x y z](deg/s):\t");
    Serial.print(ax_m_s2); Serial.print("\t");
    Serial.print(ay_m_s2); Serial.print("\t");
    Serial.print(az_m_s2); Serial.print("\t");
    Serial.print(gx_deg_s); Serial.print("\t");
    Serial.print(gy_deg_s); Serial.print("\t");
    Serial.println(gz_deg_s);
    if(gy_deg_s>80)
    {
        offset=millis()+2000;
        do
        {
            pos=pos+3;
        }
        while(millis()<offset);
    }
}

```

Figura 1.7 Código Final

```

    }
    if(gy_deg_s>80)
    {
        offset=millis()+2000;
        do
        {
            pos=pos+3;
        }
        while(millis()<offset);
    }
    delay(100);
}

}

```

Figura 1.8 Código Final

Como segunda parte de esta sección se aprecia el circuito físico final en la Figura 1.9 que consta de dos baterías conectadas en serie de 4.2 V a 8800 mAh. El conjunto de las baterías

se conectó a un regulador para lograr un voltaje de salida de 6 V aproximadamente, luego mediante cables se hicieron varias bifurcaciones para que la alimentación se pudiera conectar a los servomotores y al arduino al mismo tiempo.

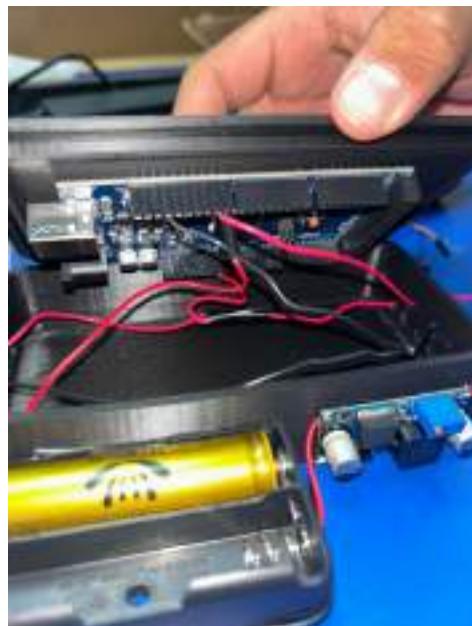


Figura 1.9 Circuito final

Ensamblaje final del circuito con el arnés e impresiones 3D

Esta sección se enfoca en la unión de todos los elementos previamente expuestos. En las Figura 2.0, Figura 2.1 y Figura 2.3 se muestran el ensamblaje final de las piezas impresas, el circuito y el arnés.



Figura 2.0 Resultado final del sistema de apoyo.



Figura 2.1 Resultado final del sistema de apoyo



Figura 2.2 Resultado final del sistema de apoyo

Discusión

Los resultados muestran que el dispositivo aumenta la fuerza de los miembros inferiores al momento de la marcha, los servomotores ejercen la fuerza suficiente para lograrlo y el sistema de poleas es lo suficientemente largo como para generar la distancia de acción necesaria para la fuerza y movimiento.

La estabilidad y anclaje del sistema de poleas junto con los servomotores requiere de muchas mejoras, esto debido a que el arnés en si se dobla al momento en el que los servomotores empiezan a ejercer el torque sobre el sistema completo, jalando y deformado tanto la parte superior como inferior del sistema. Debido a esto, el sistema de poleas ejerce un torque reducido, lo que podría afectar su capacidad para brindar la fuerza necesaria al usuario. Esto se puede solucionar mediante la implementación de estructuras rígidas o semirrígidas en los puntos de anclaje del sistema de poleas, o en su defecto, restringir y limitar su movimiento mediante elásticos alrededor de estos mismos puntos de anclaje.

El sistema de activado mediante el sensor MPU6050 funciona perfectamente si solo se utiliza un servomotor y un sensor, pero por las librerías que se están utilizando en este proyecto, la implementación de otro sensor resulta muy difícil, por no decir imposible. Para solucionar esto, se implementó un sistema de marcha simétrica, en donde, cuando se activa el servo principal, se activa el servo secundario en la dirección contraria.

Otro de los problemas del sensor fue el hecho que este detecta movimientos leves y los detecta como si fuera el inicio de la marcha, haciendo que los servomotores se activen. Esto, en sí, no tiene solución aparente más que bajarle a la sensibilidad o implementar alguna otra variable que indique el momento de la marcha, ya sea física o de código.

Por último, la soga que está anclada al sistema de poleas y ayuda a generar el movimiento al momento en el que los servomotores hacen girar los discos superiores funciona bastante bien, pero en términos estéticos, tiene mucho margen para mejorar. una solución posible seria una cuerda monocromática que encaje bien con la paleta de colores del sistema de poleas, esto para darle un toque estético más profesional

Conclusión

Para concluir con este trabajo el equipo hablará sobre todos los problemas y hallazgos que se obtuvieron en la elaboración de este. Uno de los primeros contratiempos que se tuvieron fue la obtención de los primeros actuadores y es que el primer modelo a utilizar resultó ser aún más potente de lo esperado por lo que se tuvieron bastantes problemas a la hora operarlos, este problema se resolvió cuando se descubrió que usando actuadores con una fuerza menor se podía obtener un resultado similar al que esperábamos reduciendo un poco su fuerza, pero aumentando su velocidad de acción.

Otro de los grandes problemas enfrentados a momento de la realización del proyecto fue la alimentación del circuito, pues este necesitaba alimentar a 2 sensores, 2 servomotores y un arduino Mega 2560 al mismo tiempo, y los servomotores usan alrededor de 2500 mAh y requieren un aproximado de 6 volts, cosa la cual las baterías convencionales no llegaban a cumplir, esto se resolvió usando unas baterías ion-litio modelo 18650, las cuales ejercen 4.2V y 9800mAh cada una, se pusieron dos de estas baterías en serie para aumentar el voltaje y luego se uso un regulador de voltaje para disminuirlo hasta llegar al voltaje deseado. Con esta configuración de baterías y regulador, todo el circuito puede funcionar de manera correcta.

Además de estos dos problemas, estuvo la complicación de la estabilidad al momento del ensamblaje, cosa que no se ha resuelto por completo hasta hoy. Este problema se mitigó mediante pinzas, soportes y velcros, de los cuales los últimos estamos pensando en desechar en ciertas partes del arnés para brindar más estabilidad, soporte y apoyo al sistema de poleas. Si se dispusiera de mejor capital y más tiempo, estos problemas podrían haber sido resueltos mucho antes y de mejor manera, además de que la guía de los maestros resulta beneficiosa al momento de plantear y elaborar los prototipos y proyectos.

En su estado actual, el arnés logra brindar el suficiente torque para asistir de manera activa al movimiento de los miembros inferiores al momento de la marcha, pero esta se puede mejorar solucionando algunos de los problemas antes mencionados. Se requiere de más capital y tiempo para poder solucionar todos los problemas ante mencionados, pero el arnés logra cumplir su propósito

Referencias

- *Población. discapacidad.* (s. f.). <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx>
- Agencia NotiPress. (s. f.). *México sufre falta de infraestructura para personas con discapacidad múltiple.* <https://www.mypress.mx/salud/mexico-falta-de-infraestructura-personas-discapacidad-multiple-8152>
- Mapfre, R. (2021, 3 febrero). *Biomimesis: observar la naturaleza y emular soluciones en pro de la sostenibilidad.* MAPFRE. <https://www.mapfre.com/actualidad/innovacion/biomimesis/#:~:text=La%20biom%C3%ADnesis%20que%20tambi%C3%A9n%20se,de%20biomateriales%20de%20toda%20%C3%ADndole>
- Wikipedia contributors. (2023, 11 diciembre). *Soft robotics.* Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Soft_robots
- colaboradores de Wikipedia. (2023, 25 junio). Viscoelasticidad. Wikipedia, la Enciclopedia Libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/Viscoelasticidad>
- Caballero, A. H., & Cortés, P. C. (2003). Prototipo experimental para la identificación y control de actuadores por músculo neumático. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, 42-50.
- Quinga Calvachi, J. (2023). Estudio y simulación de actuadores DEAs y músculos artificiales neumáticos empleados en soft robotics.
- Zagal, S. D., Estrada, C. Y. G., & Ramírez, B. N. F. (2023). Sistema multiplataforma para el control de lazo abierto de un par de músculos artificiales de McKibben empleando IoT, en prácticas a distancia. Revista Electrónica Sobre Cuerpos Académicos y Grupos de Investigación, 10(19)..
- Areiza, M. D., Mendoza, J., Saavedra, A., & Pittí, J. S. (2019). Musculos artificiales y optomiografia aplicados a una mano robotica. Revista de Iniciacion Cientifica, 5(2).
- Solis Ortega, R. D. (2020). Modelling and Characterization of Soft Materials for Bio-inspired Series-elastic Actuators (Doctoral dissertation, University of Leeds).
- *Batería recargable 18650 3.7 V 8800 MA Li-Ion.* (s. f.). Carrod. <https://www.carrod.mx/products/bateria-recargable-18650-4-2-v-8800-ma-li-ion>
- alldatasheet.com. (s. f.). *MG996R Datasheet, PDF.* Alldatasheet. <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=MG996R&sField=4>