

Diseño y simulación de un brazo robótico de 5GDL adaptado en una silla de ruedas eléctrica para la autoasistencia de pacientes con parálisis cerebral espástica

Design and simulation of a robotic arm of 5GDL adapted in an electric wheelchair for self-care of patients with spastic cerebral palsy

Ing. Diego A. Rozas Llontop¹, Mg. Ing. Ricardo J. Palomares Orihuela²

drozas@outlook.com, rpalomares@ieee.org

RESUMEN

La presente investigación comprende el diseño y simulación de un brazo robótico de 5 grados de libertad (GDL) adaptado a una silla de ruedas eléctrica para la autoasistencia de pacientes con parálisis cerebral espástica, haciendo uso del software de diseño Solidworks.

Este trabajo nace a partir de la alta incidencia de personas discapacitadas, específicamente aquellas que sufran de parálisis cerebral espástica con el fin de ofrecer nuevas posibilidades de tener una mejor calidad de vida y autonomía.

Palabras claves: Parálisis cerebral, espasticidad, grados de libertad, brazo robótico, Solidworks, Análisis de elementos finitos.

ABSTRACT

The present investigation includes the design and simulation of a robotic arm of 5 degrees of freedom (GDL) adapted to an electric wheelchair for self-care of patients with spastic cerebral palsy, making use of Solidworks design software.

This work was born from the high incidence of disabled people, specifically those who suffer from spastic cerebral palsy in order to offer new possibilities of having a better quality of life and autonomy.

Key words: Cerebral palsy, spasticity, degrees of freedom, robotic arm, Solidworks, Finite Element Analysis.

1. INTRODUCCIÓN

La parálisis cerebral es un trastorno de tipo neuromotor que se origina por una deficiencia en el sistema nervioso a nivel encefálico, generando alteraciones en la ejecución de movimientos y mantenimiento postural desde los primeros momentos de la vida y que afecta a unos dos casos por mil nacimientos. En el Perú, según el estudio de la Universidad Cayetano Heredia realizado por Bancalari Ernesto, Campos Patricia y Castañeda Carlos en dos hospitales de Lima, la prevalencia de parálisis cerebral fue de 5,2/1000 nacido vivos. El tipo de parálisis cerebral más frecuente fue la espástica (60%), seguida por la atetósica (23.3%) y la atáxica (16.7%). El sexo masculino predominó sobre el femenino con 56,6 y 43.4% respectivamente. Asimismo, la principal causa de discapacidad son los problemas de movilidad, con un porcentaje del 6% de la población. Del total de personas con algún tipo de discapacidad, el 74% tiene dificultades para realizar las Actividades Básicas de la Vida Diaria (ABVD) [1].

Por tanto, existe una incipiente necesidad de crear y mejorar la aplicación de tecnologías, así como sistemas innovadores que ayuden a las personas con discapacidad a realizar sus actividades básicas de la vida diaria (ABVD). La discapacidad y el envejecimiento plantean a las sociedades actuales una serie de necesidades que deben ser cubiertas con soluciones personales y colectivas adecuadas para mantener un mínimo de bienestar. Actualmente está aceptado el papel primordial de la ciencia y la tecnología como pilares para la mejora de las actividades humanas y la autonomía personal. La robótica en este sentido comienza a jugar un rol fundamental en las diferentes actividades del hombre y muy especialmente relacionado con la movilidad y la manipulación, tal como se muestra en la Figura 1 [2].



Figura 1: Brazo robótico adaptado una silla de ruedas eléctrica
Fuente: Elaboración propia

2. DISEÑO Y SIMULACIÓN

2.1 Condiciones iniciales del diseño

Para el diseño del brazo robótico, se realizó una lista de las condiciones iniciales que tiene que cumplir el brazo robótico y se tuvo que considerar durante el diseño del mismo:

- Capacidad de carga de 1 Kg de peso.
- El diseño del brazo robótico con morfología de un robot antropomórfico.
- Contar con 5 grados de libertad más la herramienta del tipo pinza.
- Autonomía de 5 horas de funcionamiento continuo.
- Un mando de control de fácil uso.
- La estructura de un material de bajo peso como el plástico ABS.
- El diseño del brazo robótico con capacidad de impresión 3D.
- El brazo robótico con capacidad para poder realizar las siguientes actividades: manipulación de cubiertos, vasos, tazas y abrir y cerrar puertas y ventanas.

2.1 Diseño mecánico

El diseño mecánico se divide en 4 etapas:

- I. Diseño del brazo robótico: se presenta el diseño realizado en software Solidworks.
- II. Diseño del control de mando: se presenta el diseño correspondiente al control de mando realizado en el software Solidworks.
- III. Cálculo de los componentes mecánicos: utilizando el software Solidworks para obtener los valores y características de los componentes que se van a seleccionar.
- IV. Análisis de elementos finitos para la validación de la estructura mecánica.

2.1.1 Diseño del brazo robótico

El diseño propuesto del brazo robótico cuenta con los siguientes componentes mecánicos y electromecánicos, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 1. Además, el brazo está formado por 6 partes, entre ellas tenemos: Base, Hombro, Brazo, Antebrazo, Muñeca y Pinza.

Tabla 1: Tabla componentes mecánicos y electromecánicos

N°	Descripción	Cantidad
1	Servomotores marca Turnigy y modelo TGY-20C	4
2	Servomotores marca Turnigy y modelo TGY-213C	4
3	Rodamiento rígido de bolas marca SKF modelo 16007	1
4	Rodamiento rígido de bolas marca SKF modelo 61804	1

Fuente: Elaboración propia

La base cuenta con 16 piezas incluido un servomotor que hace rotar el brazo robótico a lo largo del eje Y, tal como se muestra en la Figura 2.

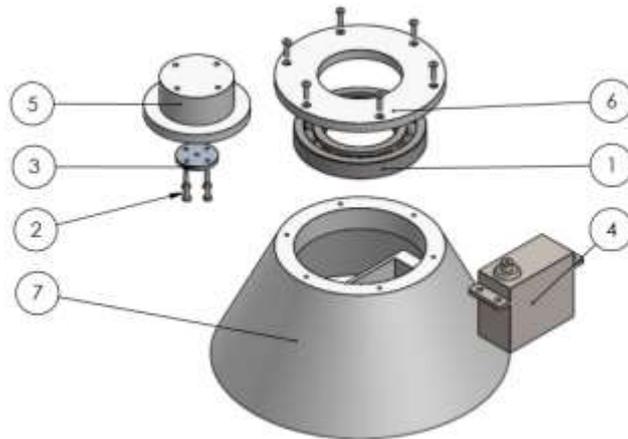


Figura 2: Diseño de la base del brazo robótico
Fuente: Elaboración propia

El hombro cuenta con 15 piezas incluidos dos servomotores opuestos para que distribuyan el torque en las partes superiores del brazo, tal como se muestra en la Figura 3.

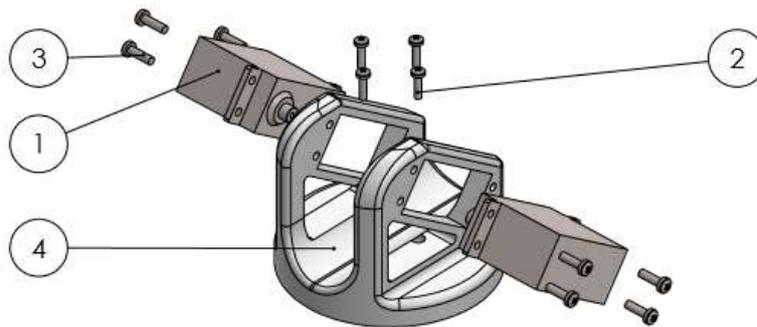


Figura 3: Diseño del hombro del brazo robótico
Fuente: Elaboración propia

El brazo cuenta con 21 piezas y comunica el hombro con el antebrazo, que tiene conectores para juntar los servomotores del hombro y antebrazo, tal como se muestra en la Figura 4.

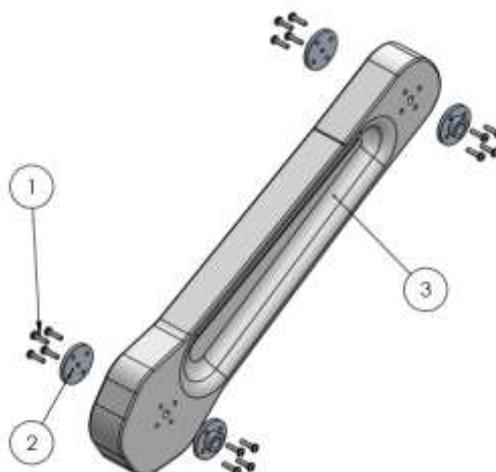


Figura 4: Diseño del brazo del brazo robótico
Fuente: Elaboración propia

En el antebrazo cuenta con 18 piezas incluyendo 3 servomotores, dos de ellos se conectan con el brazo y otro con la muñeca, tal como se muestra en la Figura 5.

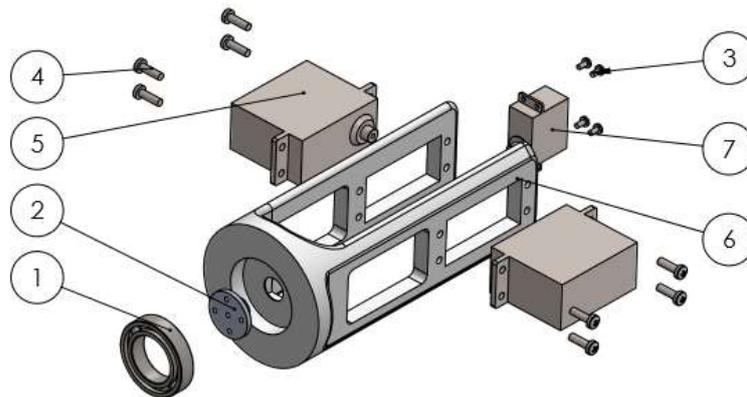


Figura 5: Diseño del antebrazo del brazo robótico
Fuente: Elaboración propia

En la muñeca cuenta con 12 piezas, y se conecta con el cuarto servo que hace rotar la pinza, tal como se muestra en la Figura 6.

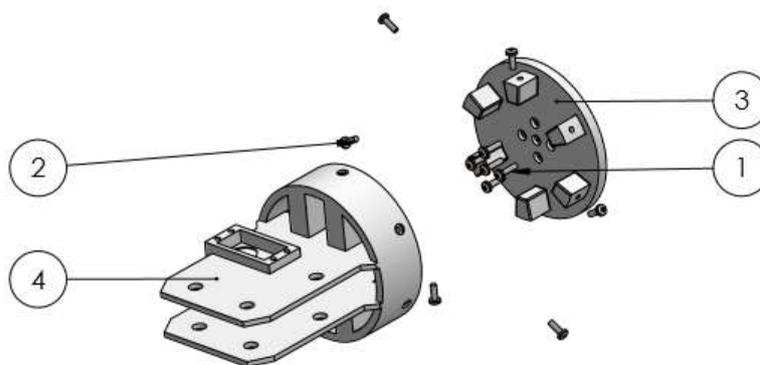


Figura 6: Diseño de la muñeca del brazo robótico
Fuente: Elaboración propia

La pinza cuenta de 24 piezas incluido un servomotor que permite la apertura y cierre de la pinza, tal como se muestra en la Figura 7.

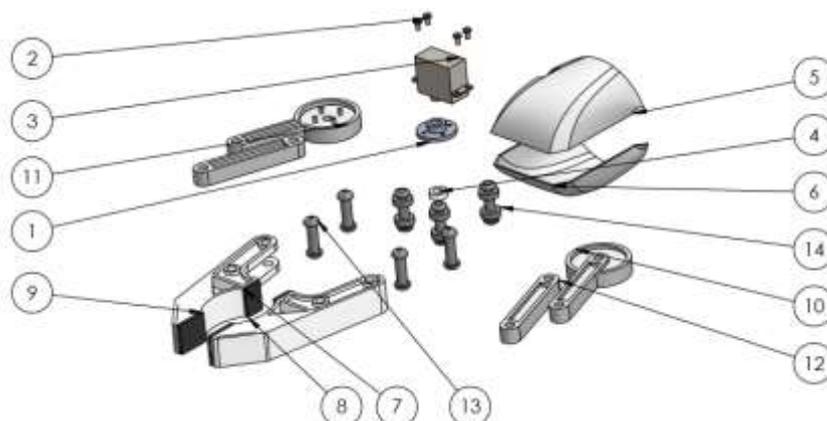


Figura 7: Diseño de la pinza del brazo robótico
Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Diseño del control de mando

Debido a que el brazo robótico es usado por pacientes con movimientos limitados, el control de mando del brazo robótico tiene que permitir facilidad en su uso, esto nos limita a diseñar un control con pocos accionadores y que permita al brazo robótico realizar varios movimientos. Por lo que, el diseño propuesto cuenta con un joystick que tiene movimientos a lo largo de los ejes X e Y, además de 2 pulsadores que permite conmutar los movimientos y acciones pre programadas del brazo robótico, tal como se muestra en la Figura 8.

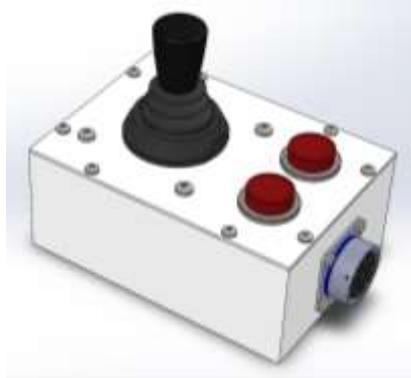


Figura 8: Diseño del mando de control
Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Cálculo de los componentes mecánicos

Para estimar los torques y consumos eléctricos de cada servomotor, se procedió a utilizar la herramienta que presenta el software Solidworks, para ello se siguieron los siguientes pasos:

- Se ensambló completamente el brazo robótico.
- Se le asignó las propiedades del material a cada parte.
- Se realizó una secuencia de movimientos donde se asignaron un motor cada grado de libertad con su respectivo ángulo de movimiento en un tiempo específico.
- Se ejecutó el programa.
- Se generaron las gráficas donde muestra el torque utilizado para mover el brazo en todo el tiempo donde se desarrolla el movimiento del brazo robótico.

Con todos estos pasos anteriores, se procede a evaluar el modelo con todos los parámetros antes mencionados, una vez usado Solidworks para el cálculo, podemos obtener los resultados correspondientes de cada servomotor. En la figura 9 se puede observar una gráfica de torques y de consumo de uno de los servomotores.

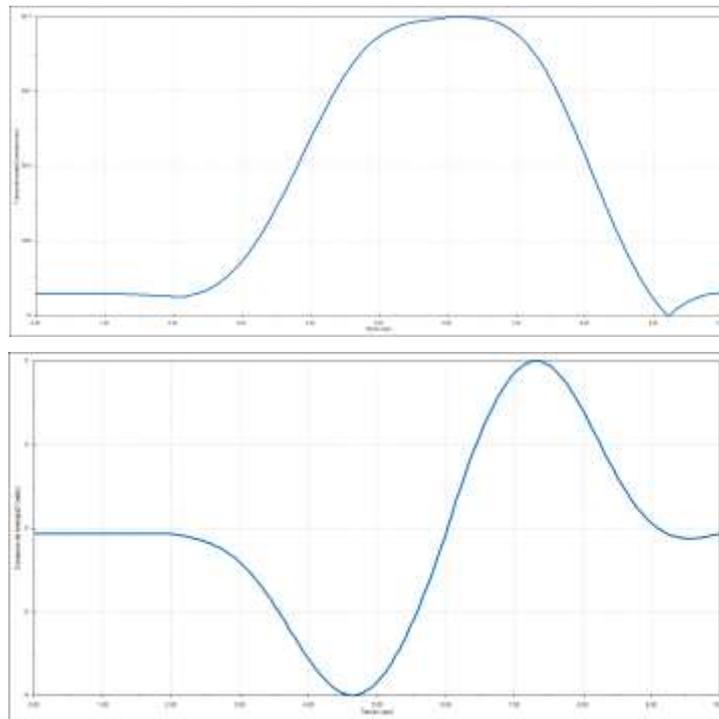


Figura 9: Grafica de torque y consumo de uno de los servomotores del hombro
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2 se puede observar todos los torques encontrados utilizando las gráficas generadas por el software Solidworks.

Tabla 2: Tabla de torques de servomotores

N°	Servo	Cantidad	Torque total (Kg-cm)	
			Calculado	Redondeado
1	Servo 1	1	0.23	1
2	Servo 2	2	59.32	60
3	Servo 3	2	30.09	31
4	Servo 4	1	0.071	1
5	Servo 5	1	1.16	1.5

Fuente: Elaboración propia

2.1.4 Análisis de elementos finitos de la estructura mecánica

Para analizar si el diseño propuesto soporta las cargas a las que se someterá, se realiza un análisis utilizando el método de elementos finitos, para ello se siguieron los siguientes pasos:

- Se procede otorgando al brazo robótico una trayectoria específica, se usará la herramienta de animación y simulación de Solidworks, llamada Solidworks motion, en ella nos permite realizar una animación realista, en la cual se toma en cuenta la gravedad, la masa de los componentes y las propiedades físicas y mecánicas otorgadas a todo el ensamble, la animación dura en total unos 10 segundos, de los cuales se analizará la estructura del brazo robótico en el segundo seis, ya que es en

ese momento donde se obtiene la máxima carga, que es donde el brazo robótico se encuentra totalmente estirado.

- Se genera el análisis a cada una de las partes principales de la estructura del brazo robótico.
- Se obtienen y analizan los resultados obtenidos usando el software SolidWorks, entre los cuales se encuentran:
 - ✓ Von Mises, con la ayuda de este tipo de análisis se obtienen las tensiones máximas y mínimas de la pieza o conjunto de piezas analizadas, esto nos ayuda a conocer a cuanta tensión está sometido el modelo.
 - ✓ Deformación unitaria, se puede definir como la relación existente entre la deformación total y la longitud inicial del elemento, lo cual permite determinar la deformación de los elementos sometidos a esfuerzos de tensión o compresión axial.
 - ✓ Factor de seguridad, es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos.

De este modo, se garantiza que la estructura propuesta funciona correctamente. En la figura 10 se muestra el resultado de deformación unitaria ejecutado al brazo del brazo robótico.

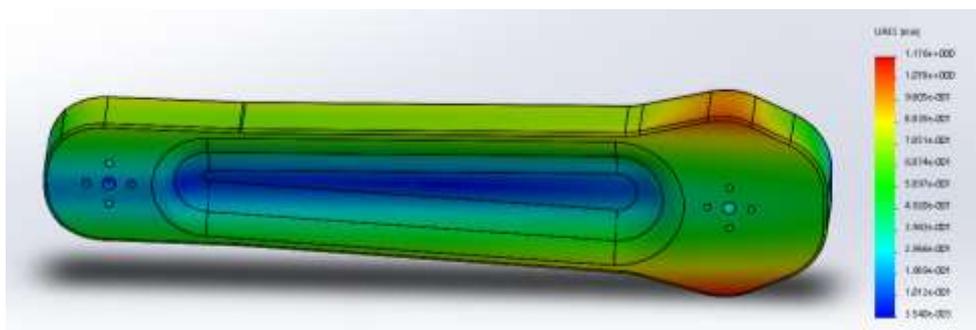


Figura 10: Deformación unitaria del brazo
Fuente: Elaboración propia

2.2 Diseño electrónico

Para el diseño y desarrollo de la placa se utilizó un software especializado y de fácil uso para el diseño de placas electrónicas, el cual lleva el nombre de Fritzing. Con la ayuda de este software se logró diseñar la tarjeta electrónica donde están todos los conectores de los pulsadores, del joystick, de los servomotores y de la alimentación, además de los pines para conectar el arduino micro. El circuito PCB estará ubicado en el mando de control, debido a

que cuenta con el espacio idóneo para su ubicación. En la Figura 11 se puede observar el diseño del circuito PCB.

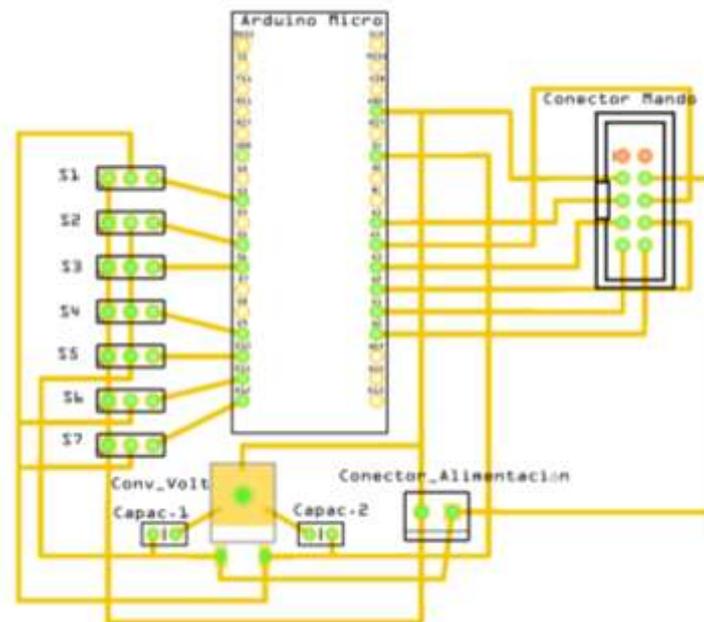


Figura 11: Circuito PCB
Fuente: Elaboración propia

Los componentes utilizados para el diseño de este circuito PCB y el mando de control, se puede apreciar en la tabla 3.

Tabla 3: Tabla de componentes electrónicos

Nº	Descripción	Cantidad
1	Joystick marca APEM modelo 1000	1
2	Pulsadores de diámetro de 15 mm	2
3	Arduino micro	1
4	Convertor de voltaje 7805	1
5	Conector shrouded header 2x4	1
6	Conectores header male de 3 pines	7
7	Terminal block PCB de 2 pines	1
8	Capacitadores de 0.1 uF	2
9	Conectores header male de 17 pines	2

Fuente: Elaboración propia

2.3 Cálculo del consumo de los componentes eléctricos

Una vez seleccionado todos los componentes electrónicos y electromecánicos, se procedió a realizar el cálculo de consumo de todo el sistema. Para este cálculo se hizo uso de las especificaciones técnicas. En el caso de los servomotores, se hizo uso de la herramienta de simulación de Solidworks, el cual nos genera gráficas de consumo de cada servomotor durante una secuencia de movimiento (para el cálculo de consumo se hizo uso de los valores máximos). En la tabla 4 se puede observar el consumo de cada componente.

Tabla 4: Lista de elementos electrónicos y electromecánicos

Nº	Descripción	Cant.	Consumo Total (Watts)	Consumo mA	Consumo por 5 Horas (Watts)
1	Servo 1	1	0.006	1.2	0.03
2	Servo 2	2	5	680	25
3	Servo 3	2	3	410	15
4	Servo 4	1	0.0018	0.4	0.009
5	Servo 5	1	0.02	4	0.1
6	Arduino Micro	1	0.075	15	0.375
7	Joystick APEM 1000	1	0.20	40	1
8	Componentes varios	-	0.10	20	0.5
Total			8.4 watts	1170.6 mA	42.014 watts

Fuente: Elaboración propia

Para el correcto funcionamiento y dimensionamiento de la batería, se multiplicó lo calculado por un factor de 1.6, debido a que no es recomendable descargar completamente la batería. En la Tabla 55 se muestra los valores finales del cálculo de la batería para la alimentación de todo el sistema.

Tabla 5: Especificaciones de la fuente de alimentación

Descripción	Voltaje (V)	Intensidad (AH)	Watts
Pack de batería	7.4	10	74

Fuente: Elaboración propia

Con los datos anteriores se seleccionó las baterías de ion de litio, ya que son más compactas y de bajo riesgo de accidente con respecto a las de polímero de litio. En la Figura 12 se observa el pack de baterías escogido para la alimentación de todo el sistema.



Figura 12: Pack de baterías de Li-ion de 7.4 V a 10Ah
Fuente: <https://goo.gl/Gi1wQ1>

2.4 Código de programación

Para la realización del código de programación se consideró los siguientes puntos:

- El movimiento del brazo es un movimiento fluido y a una velocidad constante.
- El brazo mantendrá su posición aun cuando el joystick regrese a su posición inicial.

- Presionando 1 vez el botón B1, conmuta en dos modos el funcionamiento del brazo robótico, así se manipula el brazo robótico teniendo únicamente un solo joystick.
 - ✓ En el primer modo: El eje X del joystick se mueve proporcionalmente a la segunda y tercera articulación. El eje Y del joystick hace rotar la primera articulación del brazo robótico. La cuarta articulación mantiene la posición de la pinza que previamente ya fue posicionada.
 - ✓ En el segundo modo: El eje X del joystick mueve la tercera articulación. El eje Y del joystick hace rotar la cuarta articulación.
- Para abrir y cerrar la pinza, se presiona una vez el botón B2.
- Presionando dos veces el botón B2, el brazo robótico regresa a una posición inicial preestablecida, manteniendo la última posición de la pinza y de la cuarta articulación.
- Presionando dos veces el botón B1 el brazo robótico se estira completamente, manteniendo la última posición establecida de la pinza y cuarta articulación.

El código de programación propuesto cuenta con 2 partes y 5 subrutinas, las cuales se pueden observar en la siguiente figura 13.

```

void loop() {
  b1=digitalRead(A0);b2=digitalRead(A1);//lee estado de boton1 y 2
  //====rutina para alternar entre modo 1 y modo 2 presionando b1
  if (b1==HIGH){delay(200);var=0;b1=1;// boton 1 presionado una vez
  while(var<500)// condicion para reconocer si se presiona dos veces el boton b1 y estirar completa
  {b1=digitalRead(A0);if (b1==HIGH){b1=2; var=2000;}} // boton 1 presionado dos veces
  var++;delay(1);}if(b1==1){// si boton 1 se presiona una sola vez alterna los modos
  if (modo==0){modo=1;}if (modo==1){modo=0;}}if(b1==2){ eje2=0;eje3=0;}}//si boton 1 se presiona c
  //====rutina b2=====
  if (b2==HIGH) // boton 2 presionado una vez
  {delay(200);var=0;b2=1; while(var<500)// condicion para reconocer si se presiona dos veces el bot
  {b2=digitalRead(A1);if (b2==HIGH){b2=2;var=2000;}} // boton 1 presionado dos veces
  var++;delay(1);}if(b2==1) // si boton 1 se presiona una sola vez alterna los modos
  {if (cerrar==0) // si la pinza se encuentra abierta se cierra
  {cerrar=1;pinza=180;}if (cerrar==1)// si la pinza se encuentra cerrada se abre
  {cerrar=0;}}if(b2==2) //si boton 1 se presiona dos veces se estira completamente el robot
  { eje1=pos1;eje2=pos2;eje3=pos3;}}//posicion establecida ejel,2,3
  //====rutina modo 1=====
  if (modo==0)
  { X1=digitalRead(A2);X2=digitalRead(A3);//lee estado de X+,X-
  Y1=digitalRead(A4);Y2=digitalRead(A5);//lee estado de Y+,Y-
  if (X1==HIGH) //movimiento de los ejes 2 y 3 proporcionalmente con X+
  { eje2=eje2+1;eje3=eje3+1;}if (X2==HIGH)//movimiento de los ejes 2 y 3 proporcionalmente con X-
  { eje2=eje2-1;eje3=eje3-1;}if (Y1==HIGH)//movimiento del eje 1 proporcionalmente con Y+
  {ejel=ejel+1;}if (Y2==HIGH) //movimiento del eje 1 proporcionalmente con Y-
  {ejel=ejel-1;}}
  //====rutina modo 2=====
  if (modo==1)
  { X1=digitalRead(A2);X2=digitalRead(A3);//lee estado de X+, X-
  Y1=digitalRead(A4);Y2=digitalRead(A5);//lee estado de Y+, Y-
  if (X1==HIGH) //movimiento del eje 3 proporcionalmente con X+
  { eje3=eje3+1;}if (X2==HIGH) //movimiento del eje 3 proporcionalmente con X-
  { eje3=eje3-1;}if (Y1==HIGH) //movimiento del eje 4 proporcionalmente con Y+
  { eje4=eje4+1;}if (Y2==HIGH) //movimiento del eje 4 proporcionalmente con Y-
  { eje4=eje4-1;}}
  //Rutina para asegurar que los angulos se encuentren dentro de los 180 grados
  if (ejel>180){ejel=180;}if (eje2>180){eje2=180;}if (eje3>180){eje3=180;}if (eje4>180){eje4=180;}
  if (ejel<0){ejel=0;}if (eje2<0){eje2=0;}if (eje3<0){eje3=0;}if (eje4<0){eje4=0;}
  //====escritura de angulos en los servomotores=====
  serv1.write(ejel); serv2.write(eje2); // set ejel Y 2 0° grados
  serv3.write(eje3);servo4.write(eje4); // set eje3 Y 4 0° grados
  servo5.write(pinza); delay(100);} // set eje5 cerrado

```

Figura 13: Código de programación

Fuente: Elaboración propia

2.5 Simulación del sistema

Para la simulación del sistema se realizó cuatro pruebas que consisten en distintas simulaciones con la ayuda del software Solidworks donde se observa el funcionamiento del brazo robótico para las tareas planteadas.

- **Prueba 1:** Consiste en una simulación en donde se verifica todos los movimientos que puede realizar el brazo robótico. En esta prueba se observa la capacidad que tiene la pinza del brazo robótico para poder manipular diferentes objetos con diferentes formas, tal como se muestra en la Figura 14.



Figura 14: Interacción del brazo robótico con objetos geométricos
Fuente: Elaboración propia

- **Prueba 2:** Consiste en una simulación donde el brazo robótico agarra y manipula una cuchara. Lo que se trata de conseguir es que el brazo robótico tenga la capacidad y destreza de manipular la cuchara, recoger el alimento y poder acercarse al paciente, tal como se muestra en la Figura 15.

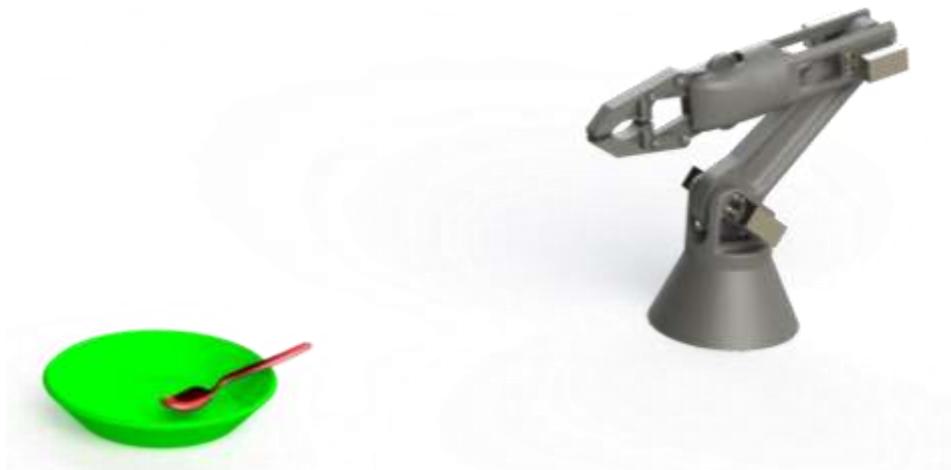


Figura 15: Interacción del brazo robótico con una cuchara
Fuente: Elaboración propia

- **Prueba 3:** Consiste en una simulación en donde el brazo robótico agarra y manipula una taza. Lo que se trata de conseguir es que el brazo robótico tenga la capacidad y destreza de sujetar una taza, acercarla al paciente y poder dar de beber al paciente, tal como se muestra en la Figura 16.



Figura 16: Interacción del brazo robótico con una taza
Fuente: Elaboración propia

- **Prueba 4:** Consiste en una simulación en donde el brazo robótico, montado en la silla de ruedas, abre y cierra una puerta. Lo que se trata de conseguir es que el brazo robótico manipule la perilla de la puerta y con la ayuda de la silla de ruedas el paciente pueda atravesar la puerta, tal como se muestra en la Figura 17.



Figura 17: Interacción del brazo robótico con la perilla de una puerta
Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS

Considerando que la simulación fue realizada mediante secuencias de movimientos otorgados al brazo robótico haciendo uso del programa Solidworks, se logró realizar satisfactoriamente todas las pruebas planteadas. Cabe mencionar que las simulaciones fueron exclusivamente del brazo robótico y las interacciones con diferentes objetos como cucharas y tazas.

En la prueba número uno se pudo verificar la sujeción de la pinza frente a diferentes objetos de diferentes formas, encontrándose ciertas deficiencias al sujetar objetos de forma piramidal. En la prueba número 2, hubo cierta dificultad para sujetar la cuchara, por lo que, para una mejor interacción del brazo robótico con cubiertos, estos deberán de tener un mango adecuado para mejorar la sujeción, de preferencia tendrán que contar con un mango plano, rígido y no tan delgado.

La prueba número 3 se realizó satisfactoriamente, se pudo levantar y manipular la taza. En la prueba número 4, también se obtuvo resultados positivos, con cierta limitación para manipular la manija de la puerta, por lo que, también se deberá acondicionar.

4. CONCLUSIONES

De la presente investigación, se puede citar las siguientes conclusiones:

- Ha sido posible identificar y seleccionar las Actividades básicas de la Vida diaria (ABVD) más importantes, logrando simular cada una de ellas.
- Ha sido posible identificar y seleccionar el material para la estructura y los actuadores para que el brazo robótico sea de bajo peso, alta eficiencia y funcionalidad, a través de los siguientes criterios: una posible fabricación, material altamente resistente y actuadores de ligeros, pequeños y de fácil manipulación.
- Ha sido posible diseñar un mando de fácil operación que permita realizar los movimientos del brazo robótico, analizando y evaluando las limitaciones de pacientes, para ello se utilizó un joystick y 2 pulsadores.
- Ha sido posible identificar y seleccionar la fuente de energía que permita brindar un apropiado tiempo de autonomía diario para el brazo robótico, mediante la selección de un pack de baterías de Li-Ion.
- Ha sido posible diseñar y elaborar un código de programación que ejecute secuencialmente los movimientos del brazo robótico, para ello se asignó movimientos proporcionales de cada articulación según el modo seleccionado.

5. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Se puede incluir sensores en el brazo robótico, con el fin de lograr movimientos autónomos intuitivos y así facilitar su manipulación a los pacientes con parálisis cerebral espástica, tanto durante su alimentación como en la manipulación de diferentes objetos.
- Se recomienda proponer otros dispositivos de manipulación de acuerdo al tipo de paciente con parálisis cerebral espástica, ya sea utilizando el iris de los ojos o control mental, complementados con una técnica de control clásica o inteligente.
- Dado que el diseño del brazo robótico cuenta con una autonomía continua de 5 horas, se recomienda aumentar la capacidad para personas con mayor actividad diaria.
- Para aumentar la capacidad de carga del brazo robótico, se recomienda aumentar el torque de los servos ubicados en el hombro y en el brazo.
- Se recomienda diseñar una pinza con mayor capacidad de agarre para diferentes objetos. Así como el acondicionamiento de algunos objetos de continuo uso para un mejor y seguro agarre.

6. REFERENCIAS

- [1] Bancalari Benavides, E. M. Parálisis cerebral: correlato clínico-etiológico. (1993).
- [2] Lojkasek, A. M., & Von Willei, G. B. (1995). Tecnología Adaptativa, 1–9. Buenos Aires.
- [3] Aitken Aitken Cohn. Tipos de parálisis cerebral. Retrieved from <http://espanol.aitkenlaw.com/paralisis-cerebral/tipos/>
- [4] Batz Saquimux, C. R. (2005). Diseño y construcción de un brazo robótico. Retrieved from http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0286_CS.pdf. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- [5] Barrientos, A., Peñin, L., Balaguer, C., & Aracil, R. (2007). *Fundamentos de la robótica*. (McGraw-Hill, Ed.). España.
- [6] Batz Saquimux, C. R. (2005). Diseño y construcción de un brazo robótico. Retrieved from http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0286_CS.pdf. Universidad de San Carlos de Guatemala.

[7] Guzmán Quijada, J. R. (2004). Diseño de prototipo de actuador robótico para alimentación de pacientes con discapacidad neuromuscular motora. Universidad Simon Bolivar de Sarenejas.

[8] Arduino. (2015). Arduino IDE. Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>

[9] Fritzing Fritzing. Retrieved January 20, 2017, from <http://fritzing.org/home/>

Los autores:

- (1) Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Ricardo Palma, con estudios de Maestría en Ingeniería Biomédica. Especialista en diseño asistido por computadora utilizando Solidworks, análisis de elementos finitos, simulación, diseño y fabricación de prototipos.
- (2) Magister en Ciencias de la Educación con mención en Docencia Universitaria, Maestría en Ciencias de la Electrónica con mención en Ingeniería Biomédica, Doctorado en Ciencias de la Educación, Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Nacional de Ingeniería, docente de las asignaturas de Robótica, Inteligencia Artificial, Mecatrónica Medica y Diseño Mecatrónico de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Ricardo Palma.