

Diseño e implementación de Brazo Biónico controlado con Emotiv EPOC+



Valentin Barco

Diciembre 2022

Tesis en Ingeniería Electrónica

Diseño e implementación de Brazo Biónico controlado con Emotiv EPOC+

Valentin Barco

Tesis presentada en cumplimiento parcial
de un título de grado en Ingeniería Electrónica

Supervisor

Dr. Claudio Delrieux

Comité

Dr. Gasaneo Gustavo

Dr. Claudio Delrieux

Ing. Diana Sanchez

Examinador

Dr. Claudio Delrieux

Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras
Universidad Nacional del Sur
Diciembre 2022

Diseño e implementación de Brazo Biónico controlado con Emotiv EPOC+

Tesis presentada en cumplimiento parcial de un título grado en Ingeniería Electrónica

Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras
Universidad Nacional del Sur
Avda. Alem 1253 - Cuerpo A - Piso 1
8000, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina

Teléfono: +54 291 5711712

Información bibliográfica:

Valentin Barco (2022) *Diseño e implementación de Brazo Biónico controlado con Emotiv EPOC+*, tesis, Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras, Universidad Nacional del Sur.

Copyright © 2022 Valentin Barco

Esta tesis no se puede copiar de ninguna forma sin el permiso del autor.

Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina, Diciembre 2022

Abstract

The objective of this thesis is to present the development and expose the implementation of a scaled bionic arm, which can be commanded with the EMOTIV + headband, in order to provide partial autonomy to people who lack mobility due to accidents or illnesses. neurodegenerative. The problem to be solved is exhibited, the different tools that exist to solve said problem, how to make use of these, and finally the design and implementation of the device will be shown. This project was developed as a prototype with the aim of presenting the idea.

Resumen

La presente tesis tiene como objetivo plantear el desarrollo y exponer la implementación de un brazo bionico a escala, el cual puede ser comandado con la diadema EMOTIV +, con el fin de brindar una autonomía parcial a personas que carecen de movilidad debido a accidentes o enfermedades neurodegenerativas. Se exhibe la problemática a resolver, las diferentes herramientas que existen para resolver dicha problemática, como hacer uso de estas, y finalmente se mostrara el diseño e implementación del dispositivo. Este proyecto, se desarrollo en calidad de prototipo con el objetivo de presentar la idea.

Contenidos

Lista de Figuras	IX
Abreviaciones	X
Agradecimientos	XI
1 Introducción	1
2 Contexto de desarrollo	3
3 Diseño	5
3.1 Implementación tecnológica	6
3.2 Emotiv EPOC+	7
3.3 Extracción de datos de giroscopio y EEG	8
3.4 Procesamiento de datos	9
3.4.1 Discriminación de pestañeos	9
3.4.2 Determinación de movimientos de cabeza	10
3.5 Sistema de control	11
3.5.1 Movimientos	12
3.6 Brazo biónico	14
3.6.1 Cálculo de torque	14
3.6.2 Servomotores	14
4 Implementación practica	17
4.0.1 Sistema de control	17
4.0.2 Brazo	18
5 Resultado final	23
5.1 Problemas y soluciones	23
5.1.1 Calentamiento de los servomotores	23
5.1.2 Latencia	24
5.2 Posibles mejoras	25
5.3 Conclusión	25
6 Datasheets	27

Bibliografía	33
7 Código	35

Lista de Figuras

3.1	Diagrama de bloques del sistema	5
3.2	Movimientos de cabeza para movimientos	6
3.3	Imagen del Emotiv EPOC+	7
3.4	Ubicacion de los electrodos del EPOC+	8
3.5	Modelo del dipolo ocular	9
3.6	Señal de EEG del electrodo frontal ante el cierre y apertura de párpados	10
3.7	Esquema de conexionado	11
3.8	Movimiento de hombro lateral vs secuencia	13
3.9	Movimiento de Antebrazo vs secuencia	13
3.10	Movimiento del codo vs secuencia	13
4.1	imagen del sistema de control	17
4.2	Imagen del brazo	18
4.3	Imagen del brazo	19
4.4	Imagen del brazo	20
4.5	Imagen de la mano	21
6.1	Datasheet RDS3235	27
6.2	Datasheet DS3225mg	28

Abreviaciones

6.3	Datasheet MG996r	30
6.4	Datasheet SG90	31

Agradecimientos

Agradezco al Dr. Claudio Delrieux y al Dr. Gustavo Gasaneo por su buena predisposición y aportes al proyecto; al Centro Integral de Neurociencias Aplicadas por brindarme el dispositivo Emotiv EPOC+, con el cual se realizó el proyecto; a Bahía 3D por la excelente impresión de todas las piezas; a Rodrigo Herlein (estudiante de ing en computación de la UNS) por la ayuda para estructurar de forma correcta el software y especialmente a la Universidad Nacional del Sur por la formación académica que me dio.

Mención especial para mi familia y amigos que me acompañaron siempre.

1 Introducción

Existen muchas enfermedades que privan al ser humano de la acción de sus músculos, incluso, cuando existe la necesidad de tomar un objeto, un medicamento, un vaso de agua, es requerida la asistencia de una persona. Muchas veces, sucede que la persona que padece la enfermedad se encuentra cognitivamente bien, pero se pueden ver afectadas considerablemente las habilidades motoras de todo el cuerpo excepto las de la cabeza y ojos. Un caso muy conocido, es una enfermedad desmielinisante llamada ELA, que afecta al 0,0016 % de la población e incide en personas de entre 50 y 70 años de edad, esta enfermedad causa incapacidades en el habla, en el movimiento de los brazos, las piernas y el cuerpo. En personas con discapacidad motora por accidente cerebrovascular se encontró que lo más comprometido es la autonomía del paciente, siendo mayores las exigencias del cuidador ya que estas personas tienen imposibilitado de forma parcial o completa el uso de sus piernas o manos. También en muchos casos, accidentes que causan un traumatismo en el cráneo y generan la pérdida de diferentes funciones motoras, incidiendo considerable en la calidad de vida y requiriendo de un asistente para realizar cualquier tipo de actividad.

Teniendo una comprensión del problema y dado que muchas de estas enfermedades o pérdidas motoras no afectan el movimiento de la cabeza, se podría utilizar ésta como una herramienta para manejar un brazo asistente, que le permita a la persona tener a su disposición múltiples objetos de uso cotidiano. Para ello en esta tesis se presentará una solución ingenieril enfocada a este tipo de problema, un brazo biónico a escala, que permite ser controlado a través de activaciones oculares y movimientos de cabeza.

El interés en realizar este proyecto fue debido a la profunda inclinación hacia el campo de la neurociencia, la biotecnología, la medicina, robótica y la fina interacción que hay entre estas, ya que pueden dar diversas soluciones a problemas que afectan a las personas. Existen desde sistemas que permiten el diagnóstico y clasificación de enfermedades a través de imágenes como radiografías o tomografías, hasta robots que realizan cirugías de extrema precisión. Como podemos ver, esta rama multidisciplinaria esta brindando soluciones que antes se creían imposibles, y fue gracias al gran salto tecnológico que ocurrió en las ultimas dos décadas. Dadas las dificultades y profundidades que contienen cada una de las disciplinas que forman a este proyecto, fue necesario mucho tiempo de estudio, planificación y trabajo, para plantear la idea, hacer el diseño y plasmarlo en la realidad. También hay que tener el cuenta

1 Introducción

que fue sumamente importante en asesoramiento de expertos en los diferentes campos , como ingeniería en software, procesamiento de señales, neurociencia, física y electrónica.

2 Contexto de desarrollo

Para dar un poco de contexto, es importante describir la idea original que se tenía al momento de comenzar con este trabajo. Ésta consistía en desarrollar una mano biónica que pueda copiar los movimientos que hacía con la mano una persona sometida a un electroencefalograma. El problema de esta idea era que se necesitaría una gran cantidad de electrodos y una gran focalización de éstos en el área donde esa información se procesa; Como esto no puede ocurrir, deberían introducirse electrodos intracraneales y esto es muy difícil. Nada de todas estas ideas era portable y de bajo costo. ¿Entonces de que manera puedo suplir este problema?. El sujeto sigue teniendo movilidad de cabeza, tiene capacidad para cerrar los ojos, y toda esta información es fácil de codificar para utilizar como un recurso. Luego de mucho análisis y reuniones con gente del campo de la neurociencia, se decidió realizar un brazo bionico y utilizar las señales electroencefalográficas de los parpadeos oculares para las activaciones.

A partir de esta resolución surgieron diferentes caminos a seguir ya que el hecho de querer captar actividad cerebral abría varias alternativas.

¿Que recursos tecnológicos hay disponibles y cuáles son sus características?

Para captar actividad cerebral existen estudios de electroencefalografía, llamados también por su abreviatura EEG, estos pueden llegar a ser imprácticos y costosos, además de requerirse de personal calificado para operar los sistemas. A continuación se hará mención de las diferentes alternativas existentes:

- EEG de 14 canales de baja resolución pero práctico y portable, además de fácil y rápida utilización, contiene conexión inalámbrica, es decir no es necesario el uso de cables.
- EEG de 21 canales de alta resolución, pero impráctico debido a que se deben conectar cables desde el dispositivo hasta la cabeza, Por lo que es de difícil utilización y se requieren conocimientos de como se colocación y uso.
- EEG de 32 canales de altísima resolución, se requieren sistemas muy costosos

y personal altamente capacitado para colocarlos y utilizar el sistema.

- EEG intracraneal, se obtiene una resolución altísima de la actividad cerebral pero para esta técnica se requiere insertar el electrodo en la zona de interés de forma quirúrgica, y resulta mas riesgoso y costoso.

Equipamiento operativamente utilizable

Podemos ver que los EEGs por encima del de 14 canales, no disponen de comunicación inalámbrica, por lo cual seria necesario el uso de una gran cantidad de cables y electrodos y contar personal calificado para operar el sistema. Por lo tanto el caso mas practico para este proyecto es el EEG de 14 canales. Un dispositivo que brinda estas cualidades se llama EPOC+ de la empresa Emotiv, que fue finalmente brindado para este proyecto por el centro integral de neurociencias aplicadas de Bahía Blanca. Cabe destacar que en un principio, no se disponía de la opción de la diadema EPOC+, por lo que para captar la actividad cerebral se intentó realizar un prototipo de electroencefalógrafo, utilizando técnicas de diseño de circuitos analógicos; pero viendo que se inducía demasiado ruido externo en éste, fue imposible medir la señal cerebral y se descartó la opción.

Una vez planteada la idea de obtener la diadema Emotiv EPOC+ surgieron problemas a la hora de extraer los datos de ésta, ya que no se podía hacer uso de los datos de forma libre sin una licencia original del software. Por lo que después de muchos intentos de hacer uso de los datos, se decidió pagar la licencia de forma temporal para realizar el proyecto. Es importante aclarar que la empresa Emotiv no permite el uso de su dispositivo con fines médicos o comerciales, por lo que si en un futuro se desea comercializar un modelo de este dispositivo, es necesario volver a retomar la idea de realizar un electroencefalógrafo.

Electroencefalograma

Las neuronas cerebrales se comunican a través de impulsos eléctricos y están siempre activas, tanto si la persona está despierta como dormida. Esta actividad eléctrica se manifiesta en forma de ondas de distinta intensidad: baja, moderada y alta y pueden ser medidas a través de este estudio, la electroencefalografía. Esta es una prueba neurofisiológica que evalúa y mide la función de las neuronas desde el punto de vista eléctrico mediante electrodos que se colocan en el cuero cabelludo de una persona. Dicha actividad bioeléctrica cerebral se mide en forma de ondas en las distintas áreas del cerebro y puede ser utilizada para diagnosticar enfermedades o anomalías en las funciones del cerebro.

3 Diseño

En esta sección se describe el diseño de las diferentes etapas que forman al brazo, como así la forma en la que éstas trabajan en conjunto para lograr el funcionamiento esperado.

Como veremos en el siguiente diagrama, el diseño del proyecto consta de 5 bloques principales, el dispositivo de adquisición Emotiv EPOC+, la extracción de datos, el procesamiento de éstos, el sistema de control y por último el brazo biónico propiamente dicho.

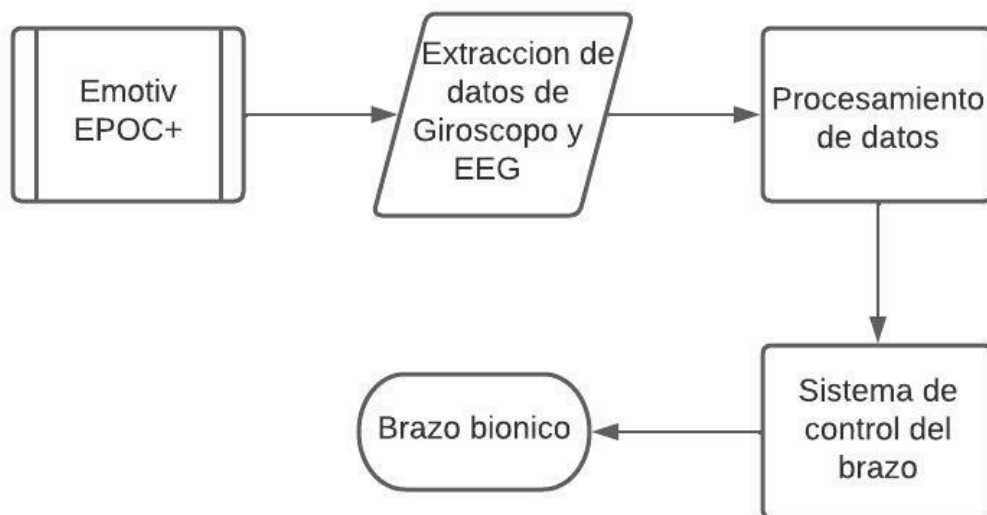


Figura 3.1: Diagrama de bloques del sistema

Cada uno de estos bloques, van a ser explicados mas detalladamente a continuación en las siguientes subsecciones .Se especificarán las características y los componentes de cada uno de ellos y su principal rol dentro del diseño final

3.1. Implementación tecnológica

Como se explicó anteriormente, este dispositivo está pensado para personas que no tienen movilidad en sus piernas y brazos, pero sí disponen de la movilidad de la cabeza, por lo que el control del brazo biónico debe estar basado en la codificación de los movimientos de cabeza y ojos. Esta codificación debe poder dar control completo del dispositivo y poder realizar tareas sencillas, pero imposibles para una persona con discapacidad motora.

El funcionamiento del dispositivo se divide en dos partes, el control de los ejes de movimiento y el accionamiento de la mano para abrir y cerrarla. Para poder controlar los ejes de movimiento, se optó por utilizar un giróscopo integrado en el dispositivo de adquisición Emotiv EPOC+, el cual es montado sobre la cabeza y capta los movimientos de rotación que realiza el usuario. Este dispositivo además contiene electrodos para medir las señales electroencefalográficas que permiten detectar pestañeos oculares.

Si el usuario mueve la cabeza hacia los lados, controla la posición 'X' del brazo, si mueve la cabeza hacia adelante o atrás, controla la posición 'Y'. Luego realizando un parpadeo con el ojo izquierdo, el eje de movimiento 'Y' cambia por el eje 'Z', permitiendo así el control de los 3 ejes. Una vez alcanzado el objeto a agarrar, si se realiza un pestañeo con el ojo derecho, la mano se cierra y procede a tomar el objeto. Nuevamente el usuario puede mover la cabeza y habiendo tomado el objeto puede lo que tenía planeado.

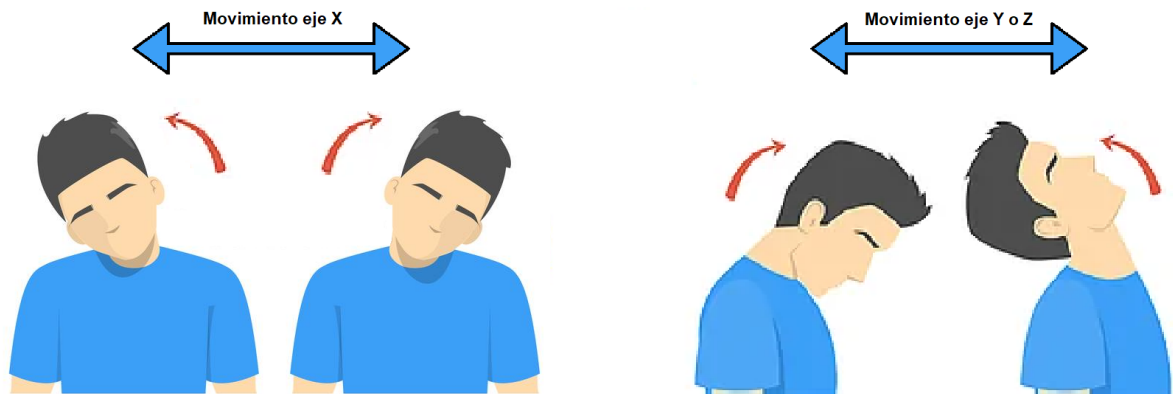


Figura 3.2: Movimientos de cabeza para movimientos

3.2. Emotiv EPOC+

Emotiv EPOC+ [2], es un neuroauricular inalámbrico de adquisición y procesamiento de neuroseñales de alta resolución. Utiliza un conjunto de sensores para sintonizar las señales eléctricas producidas por el cerebro. También mediante una licencia se puede adquirir un software que permite leer los pensamientos, sentimientos y expresiones del usuario y se conecta de forma inalámbrica a la mayoría de las PC a través de bluetooth



Figura 3.3: Imagen del Emotiv EPOC+

Consta de:

- Giroscopio y acelerómetro para detección de movimientos de cabeza.
- 14 canales de EEG de alta resolución.
- Conectividad inalámbrica a través de bluetooth

Mediante el comprobante de alumno regular de la Universidad Nacional del Sur, se obtuvo la licencia de estudiante del software del dispositivo. Una vez obtenida, se tuvo que solicitar el acceso a CORTEX, el cual es un permiso para modificar el código de adquisición de datos del EPOC+. A través de éste, se pudo programar un software de procesamiento de datos en tiempo real que está conectado de forma

inalámbrica al dispositivo

3.3. Extracción de datos de giroscopio y EEG

Como se menciona anteriormente, el dispositivo que se utiliza en este proyecto cuenta con 14 electrodos colocados como se muestra en la figura 3.4 [5], pero solo serán requeridos los canales AF3 y AF4, ya que éstos van a darnos la información necesaria sobre los pestañeos oculares que se realizan para generar las activaciones del brazo.

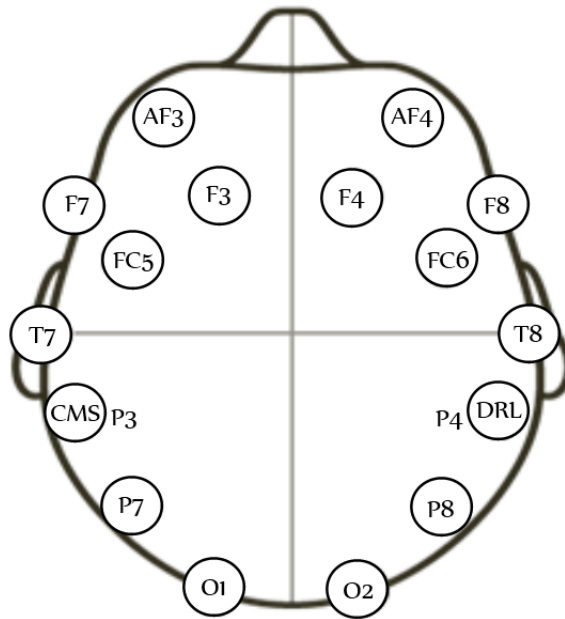


Figura 3.4: Ubicacion de los electrodos del EPOC+

Los datos de electroencefalografía son tomados a través de la aplicación CORTEX, y son cargados en un arreglo ["COUNTER", "INTERPOLATED", "AF3", "T7", "Pz", "T8", "AF4", "RAW_CQ", "MARKER_HARDWARE"] para su futuro procesamiento. Por otro lado los datos del giróscopo son cargados en el arreglo ['COUNTER_MEMS', 'INTERPOLATED_MEMS', 'Q0', 'Q1', 'Q2', 'Q3', 'ACCX', 'ACCY', 'ACCZ', 'MAGX', 'MAGY', 'MAGZ'], donde los valores del giróscopo son Q2 y Q3.

3.4. Procesamiento de datos

Para el procesamiento de las señales, se utiliza jupyter notebook en una computadora portátil ASUS. El objetivo de este bloque es discriminar con que ojo esta pestañeando el usuario y que movimientos esta realizando con la cabeza.

3.4.1. Discriminación de pestañeos

Como veremos en la Figura 3.5 [1], el ojo se comporta como un dipolo, cuando el usuario cierra el ojo, el potencial positivo que se encuentra en la cornea, se acerca al electrodo del lóbulo frontal [(b)] y se ve reflejado en la señal. Inmediatamente cuando el ojo se abre, este se mueve rápidamente hacia abajo [(c)], causando el efecto contrario en el potencial. Por lo tanto se puede identificar perfectamente la señal del pestañeo, y dependiendo de en que canal aparezca se puede determinar cual ojo es el que se esta cerrando.

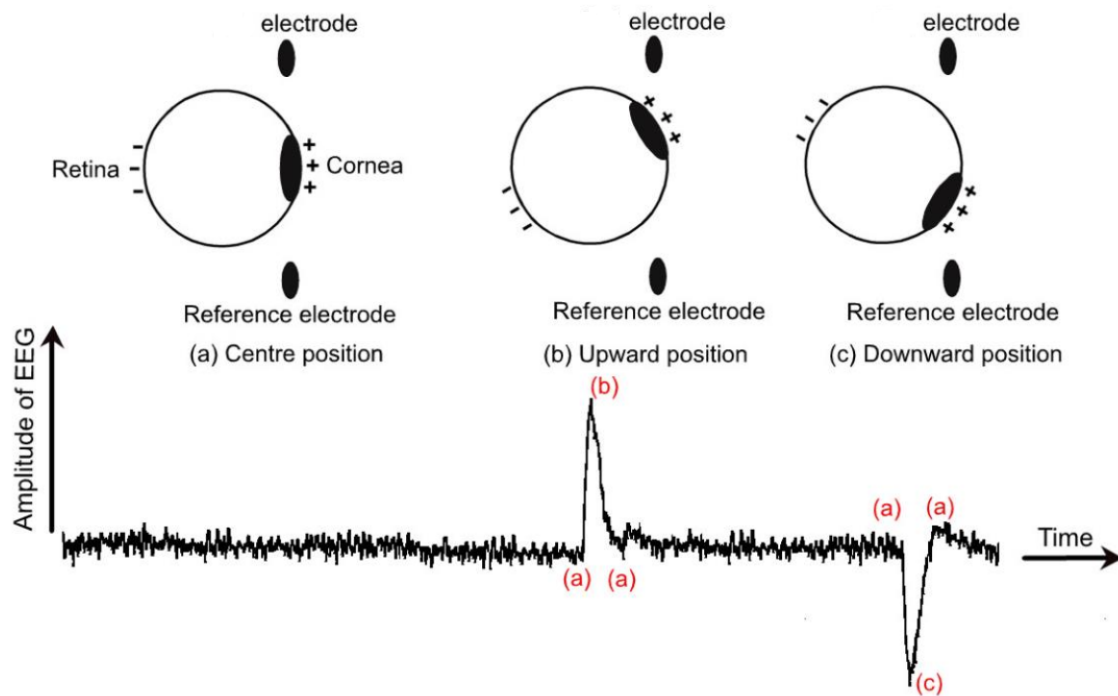


Figura 3.5: Modelo del dipolo ocular

En la figura 3.6 [1], podemos analizar como se vería en tiempo real el efecto parpadeo de un ojo en la señal de EEG. Por lo tanto, si esta señal característica aparece en el canal derecho, significa que el parpadeo ocurrió en el ojo derecho, también si aparece en ambos canales significa que está pestañeando con ambos ojos.

Para determinar esto mediante software, se optó por un nivel de umbral en el cual, al pestañear con el ojo izquierdo o derecho, se genera un disparo que envía un mensaje al sistema de control del brazo de que se realizó dicha acción. El mensaje es enviado a través de un socket de WI-Fi en forma de string como Pestañeo Izq o Pestañeo Der. En el caso de encontrarse el disparo de umbral en ambos canales, no se enviará ningún mensaje, ya que significa que el usuario está pestañeando con ambos ojos.

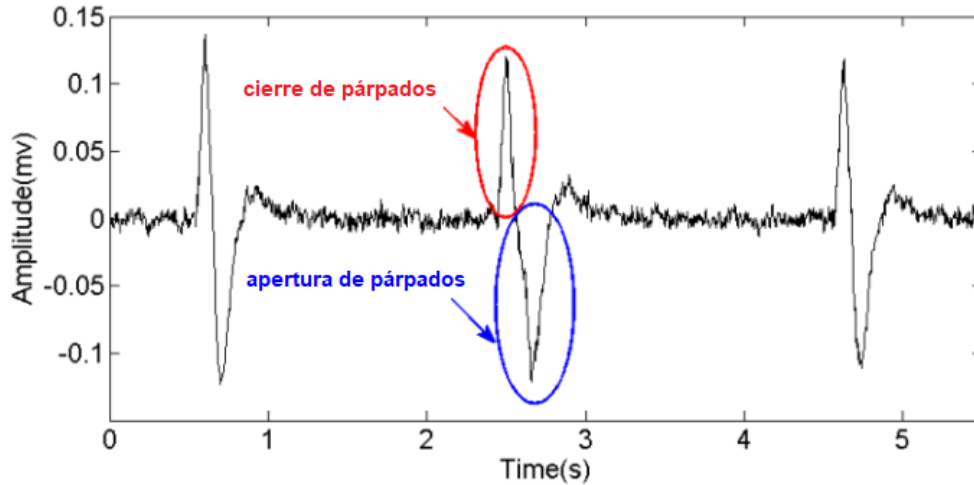


Figura 3.6: Señal de EEG del electrodo frontal ante el cierre y apertura de párpados

3.4.2. Determinación de movimientos de cabeza

Para determinar los movimientos de cabeza, se utilizan los datos del giróscopo integrado en el EPOC+, y se realiza de la misma manera que la discriminación de pestañeos, se escogen umbrales para los ejes de rotación X e Y, tanto para determinar los movimientos de rotación laterales como frontales. Cuando se mueve la cabeza lo suficiente como para superar el umbral, se genera una activación que envía un mensaje al sistema de control del brazo diciéndole que movimiento se está realizando.

Estos mensajes son: 'centro', si no se realiza ningún movimiento, 'derecha' si se inclina la cabeza hacia la derecha, 'izquierda' si se inclina hacia el lado contrario, 'front' si se mueve la cabeza hacia adelante y 'back' si se mueve la cabeza hacia atrás. Estos mensajes son recibidos por el sistema de control que se explicará mas adelante.

3.5. Sistema de control

El sistema del brazo corre sobre un dispositivo Raspberry pi 4 Modelo B de 2 Gb, y está programado con la interfaz nativa Thonny IDE. Éste, cuenta con un módulo con dos Relés, que le permite al sistema tener control sobre la alimentación de los servomotores que accionan el brazo, dispone además de un módulo PCA9685 que genera las ondas PWM que controlan dicho servos, y una fuente de stepdown de 8A que permite ajustar el voltaje de alimentación para los servos de alto torque.

A continuación se presentará un esquema de conexionado donde se verán todas las conexiones que dispone el sistema para poder controlar todos los servomotes.

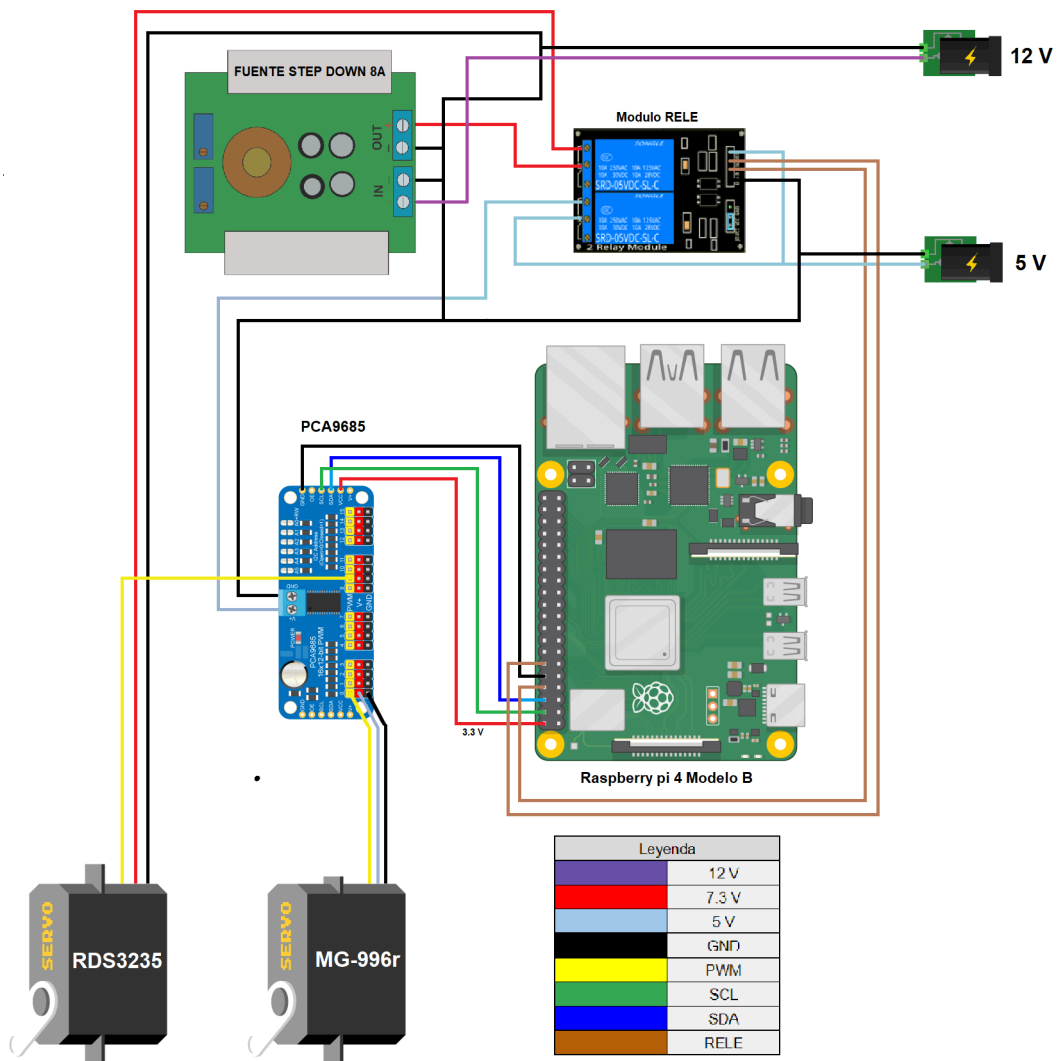


Figura 3.7: Esquema de conexionado

Para controlar el ángulo de los servomotores, debido a que la Raspberry pi 4 no puede generar PWM de forma perfecta, se optó por la utilización con el módulo PCA9685, ya que permite generar dicha PWM por hardware. Éste, se comunica con la raspberry mediante comunicación I2C, por lo que es necesario la importación de una librería para comunicación entre ambos dispositivos. Para ello se creó una clase ServoControl, que contiene métodos específicamente diseñados para modificar el ángulo de los servomotores, teniendo en cuenta la posición en donde se encuentran y permitiendo modificar parámetros como la velocidad a la que el servo se mueve o los pasos que hace para llegar a dicha posición. Esta clase hace uso de la librería ServoKit de adafruit para establecer la comunicación entre la raspberry y el módulo PCA9685.

3.5.1. Movimientos

El brazo consta de 9 servomotores, esto nos da una cantidad de grados de libertad los cuales harían muy tedioso el cálculo de las relaciones trigonométricas que los relacionarían entre si. Para solucionar esto, se optó por una solución mas práctica, que consiste en buscar diferentes posiciones secuenciales que el brazo debe tomar para realizar un determinado movimiento e ir guardando cada uno de los ángulos para una secuencia del 0 al 10, donde cada valor es una posición intermedia del brazo. Se realizó un gráfico de cada uno de los servomotores y se obtuvo el polinomio que representaba cada movimiento para cada uno de los servomotores.

En función de las activaciones que lleguen al socket, que reflejan los parpadeos y movimientos de cabeza que se realicen con el EPOC+, se ejecutan diferentes funciones que varían el número de la secuencia de dicho movimiento causando que el brazo se mueva en determinada dirección y sentido. Éste continua moviéndose hasta que llegue otra activación y genere un cambio en otra secuencia, causando otro movimiento.

En las siguientes figuras se muestran algunos ejemplos de diferentes articulaciones en el movimiento de búsquedaDer() que se ejecuta cuando llega la activación "derecha" la cual refleja que el usuario está inclinando la cabeza hacia la derecha.

Hombro Lateral

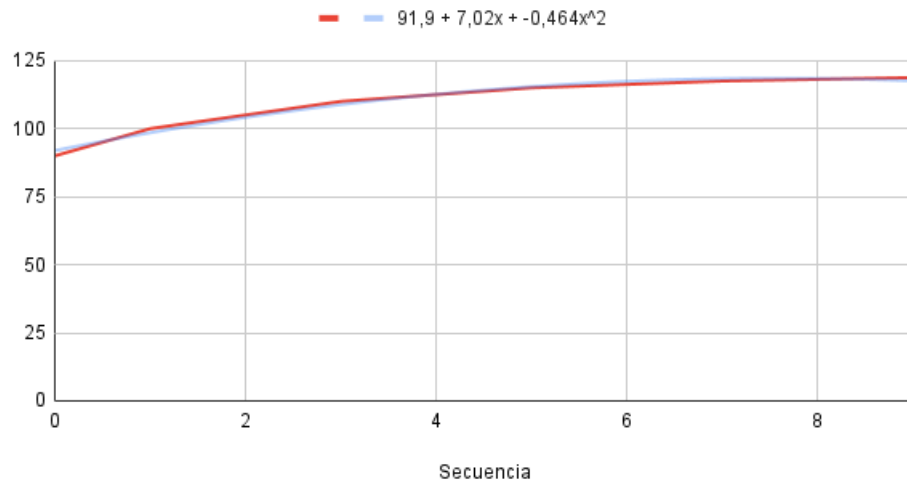


Figura 3.8: Movimiento de hombro lateral vs secuencia

Antebrazo

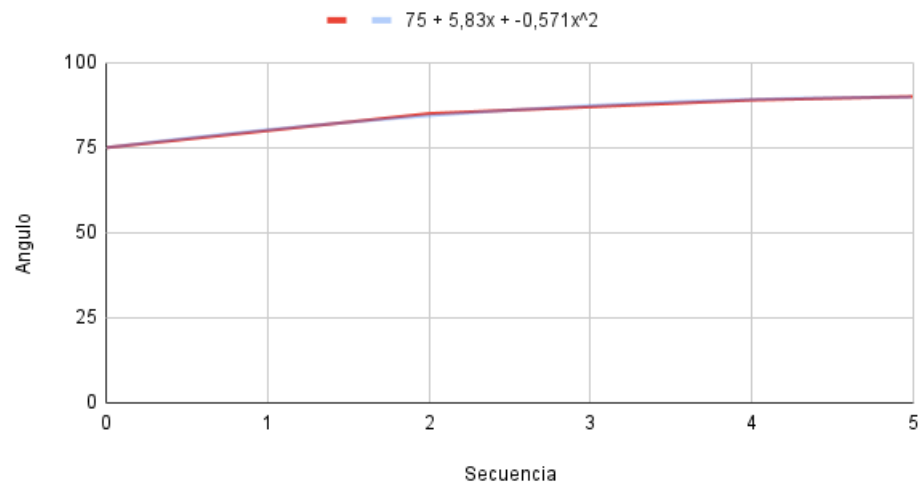


Figura 3.9: Movimiento de Antebrazo vs secuencia

Codo

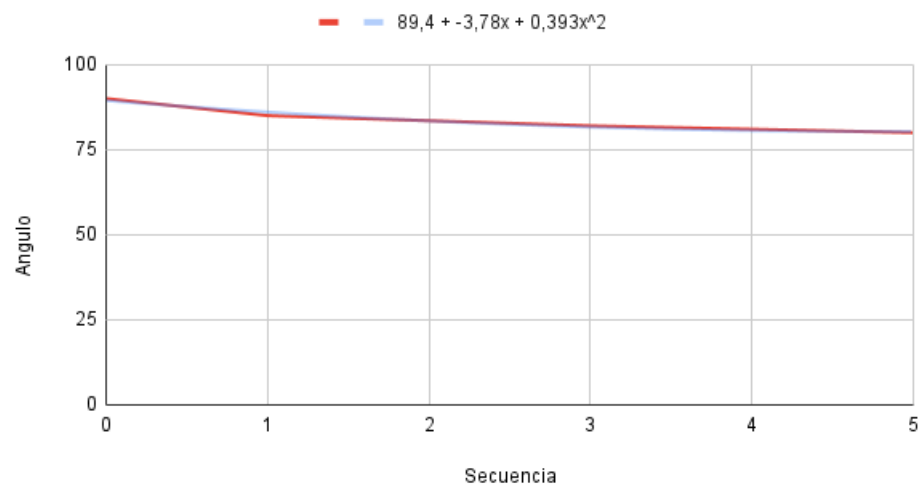


Figura 3.10: Movimiento del codo vs secuencia

3.6. Brazo biónico

El modelo de la mano fue extraído de la diplomatura en tecnología biónica de la empresa P4H Bionic [4], y el modelo del resto del brazo fue extraído del robot Reachy, de la empresa Pollen Robotis [3]. Estos modelos fueron modificados para poder ser utilizados con los servomotores MG-996r y RDS3235.

3.6.1. Cálculo de torque

Los cálculos de torque fueron realizados para las articulaciones mas críticas, como es el caso del hombro y el codo.

Para el cálculo del servomotor del hombro se tiene en cuenta el peso total del brazo, 1 Kg, el centro de masa a 35 cm del hombro y la inclinación máxima del brazo, la cual no supera los 45 grados respecto de la base del hombro.

$$T_{hombro} = 1kg * 35cm * \sin 45^\circ = 24,7kg.cm \quad (3.1)$$

Para el cálculo del servomotor del Codo se tiene en cuenta el peso de la sección inferior del brazo a partir del codo, 0.6 Kg, el centro de masa a 17 cm y la inclinación máxima del brazo no supera los 90 grados.

$$T_{codo} = 0,6kg * 17cm * \sin 90^\circ = 10,2kg.cm \quad (3.2)$$

Una vez realizado estos cálculos se optó por elegir servomotores que superen con un margen de seguridad los valores de torque previamente calculados.

3.6.2. Servomotores

Se utilizaron 4 Tipos de servomotores y fueron distribuidos según su torque.

- Hombro frontal: RDS3235 35 Kg.cm
- Hombro lateral: RDS3235 35 Kg.cm
- Hombro giro: DS3220mg 20 Kg.cm

- Codo: RDS3235 35 Kg.cm
- Antebrazo giro: MG996r 10 Kg.cm
- Muñeca: MG996r 10 Kg.cm
- Dedo índice: MG996r 10 Kg.cm
- Dedo pulgar: SG90 1.5 Kg.cm
- Dedos agarre: SG90 1.5 Kg.cm

4 Implementación practica

4.0.1. Sistema de control

El sistema de control fue montado sobre una placa de madera que sostiene el brazo, se optó por un diseño modular ya que en el caso de querer realizar una ampliación, resulta mas fácil de modificar que realizando una placa electrónica con las conexiones y soldando los módulos a ella.



Figura 4.1: imagen del sistema de control

4.0.2. Brazo

En primera instancia se fabricó una estructura de soporte en metal con regulación de altura, insertada en una pieza de hormigón que hace de contrapeso; a ella se le atornilló la base del hombro, el cual contiene la articulación del mismo. A continuación, a través de los servomotores se encuentran unidas las diferentes partes, como el brazo, codo, antebrazo y mano. El brazo en su conjunto fue realizado en PLA con impresora 3D modelo B3D MAX.



Figura 4.2: Imagen del brazo



Figura 4.3: Imagen del brazo



Figura 4.4: Imagen del brazo

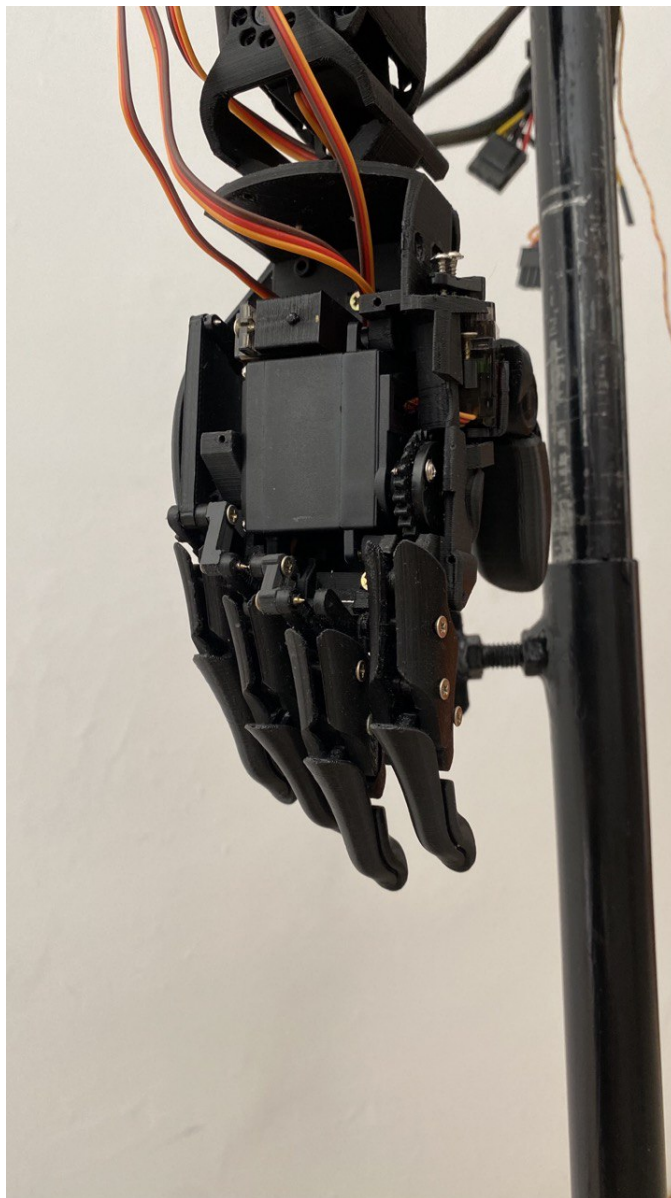


Figura 4.5: Imagen de la mano

5 Resultado final

Luego del arduo esfuerzo académico, práctico y económico que significó llevar adelante este proyecto, se obtuvieron varios resultados. Desde el punto de vista práctico se lograron los objetivos propuestos a la hora de iniciar el proyecto, el dispositivo funciona correctamente, es portable y cómodo de utilizar. Se comprobó después de varias pruebas de que es completamente controlable a través de los movimientos de la cabeza y ojos. Desde el punto de vista académico se logró una ampliación considerable de conocimientos en lo que respecta al campo de la neurociencia, debido a la continua utilización y experimentación con actividad cerebral, además de conocimientos en robótica y física.

5.1. Problemas y soluciones

Esta implementación tiene un par de restricciones como el calentamiento de los servomotores y la latencia, otro problema es que algunos de los servomotores son de difícil acceso en argentina, por lo cual deben ser importados incrementando el costo de fabricación y los tiempos.

Cada uno de los problemas serán comentados en las subsecciones siguientes, detallando el inconveniente en si y sus posibles soluciones.

5.1.1. Calentamiento de los servomotores

Uno de los mayores problemas de esta implementación es que los servomotores del codo y hombro levantan temperaturas altas, del orden de los 70 grados, esto sucede cuando se mantienen en una posición fija realizando fuerza por un tiempo prolongado, por lo tanto es necesario realizar tiempos de reposo entre cada uso.

Solución 1

Agregar un dispositivo que mida la temperatura del motor y le envíe información de forma continua al sistema de control, de tal manera de que si se acerca a la temperatura máxima especificada por la datasheet del servo, se le dé una advertencia al usuario de que el brazo se está calentando y que debe apagarlo, en el caso de ser superada, el brazo iría a una posición de descanso y se apagaría de forma automática para evitar daños.

Solución 2

Cambiar el servomotor por un modelo de mayor torque, en específico, RDS5160, el cual es un servo muchísimo mas potente y grande, pero eso implicaría cambios en el sistema de alimentación de los servomotores, además de que se deberían modificar todos los modelos 3d de las piezas para que se adapten a la forma y tamaño de ese servo

5.1.2. Latencia

El dispositivo cuenta con unos milisegundos de delay entre que el usuario mueve la cabeza y el momento en el que el brazo se acciona y realiza lo que el usuario le ordena. Esta latencia se debe en parte a al diseño del software, ya que muchos algoritmos son ineficientes y tienen un orden de complejidad alto, el cual hace que el sistema de control tarde en responder. Por otro lado, otra razón de la latencia es que la cadena (Figura 3.1: Diagrama de bloques del sistema) de procesamientos que debe seguir la orden hasta llegar al brazo, es larga y eso agrega tiempo debido a que cada bloque le agrega su delay.

Solución

Contratar un ingeniero en sistemas, que reestructure el software para que sea lo mas eficiente posible, permitiéndole así a cada bloque de procesamiento agregar un menor tiempo de retardo.

5.2. Posibles mejoras

Si observamos los movimientos del brazo, podemos ver que estos son muy rígidos y antinaturales. Una posible solución sería agregando sensores y mediante algoritmos de inteligencia artificial generar automatizaciones y planificaciones para mejorar la fluidez de dichos movimientos que se deben hacer, en función de los objetos que tenga en frente la persona y los que parece desear agarrar. Esto permitiría mejorar notablemente la experiencia del usuario, logrando así una adaptación mas rápida y un uso mas interactivo con el dispositivo.

Otra posible mejora es realizar las impresiones de las piezas en resina, permitiendo así utilizar materiales de mayor calidad y alargando la vida útil.

5.3. Conclusión

Se puede decir que esta implementación es viable como solución alternativa para asistir a personas con discapacidad motora. Se puede manejar de forma cómoda realizando movimientos con la cabeza y parpadeos de ojos.

El uso del EPOC+ no representa una molestia debido a su sencillez y comodidad a la hora de utilizarlo. La desventaja es que se requiere un tiempo de adaptación por parte del usuario para aprender a controlar el brazo de forma fluida, ya que al tener los problemas de latencia, resulta complicado en un inicio.

Debido a la innovadora forma de controlar el brazo, es posible pensar en una futura comercialización del dispositivo, teniendo en cuenta las posibles mejoras antes mencionadas, para lograr un producto de excelente calidad y relativamente bajo costo.

6 Datasheets

RDS3235



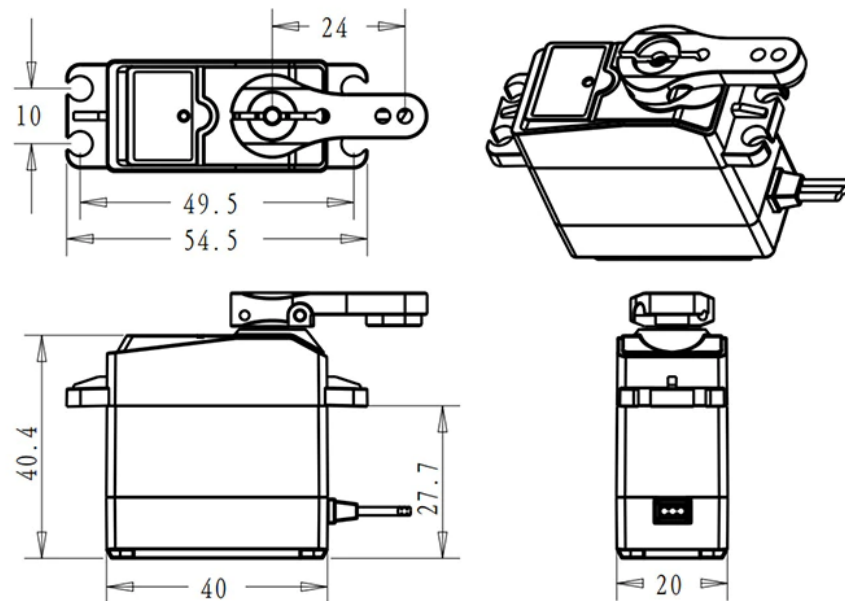
3. 电气特性 Electrical Specification

No.	工作电压 Operating Voltage	5V	6V	7.4V
3-1	待机电流 Idle current(at stopped)	5mA	5mA	5mA
3-2	空载转速 Operating speed (at no load)	0.13 sec/60°	0.12 sec/60°	0.11sec/60°
3-3	堵转扭矩 Stall torque (at locked)	29 kg-cm	32 kg-cm	35 kg-cm
3-4	堵转电流 Stall current (at locked)	1.9A	2.1 A	2.3A

4. 控制特性 Control Specification

No.	Item	Specification
4-1	驱动方式 Control System	PWM(Pulse width modification)
4-2	脉宽范围 Pulse width range	500~2500μsec
4-3	中点位置 Neutral position	1500μsec
4-4	控制角度 Running degree	180° or 270° (when 500~2500 μ sec)
4-5	控制精度 Dead band width	2 μsec
4-6	控制频率 Operating frequency	50-330Hz
4-7	旋转方向 Rotating direction	Counterclockwise (when 500~2500 μsec)

Figura 6.1: Datasheet RDS3235

DS3220mg

1. 使用环境条件 Apply Environmental Condition

No.	Item	Specification
1-1	存储温度 Storage Temperature Range	-30℃～80℃
1-2	运行温度 Operating Temperature Range	-15℃～70℃
1-3	工作电压范围 Operating Voltage Range	4.8-6.8V

2. 机械特性 Mechanical Specification

No.	Item	Specification
2-1	尺寸 Size	40*20*40.5mm
2-2	重量 Weight	60g
2-3	齿轮比 Gear ratio	275
2-4	轴承 Bearing	Double bearing
2-5	舵机线 Connector wire	300±5mm
2-6	马达 Motor	3-pole(s)
2-7	防水性能 Waterproof performance	IP66

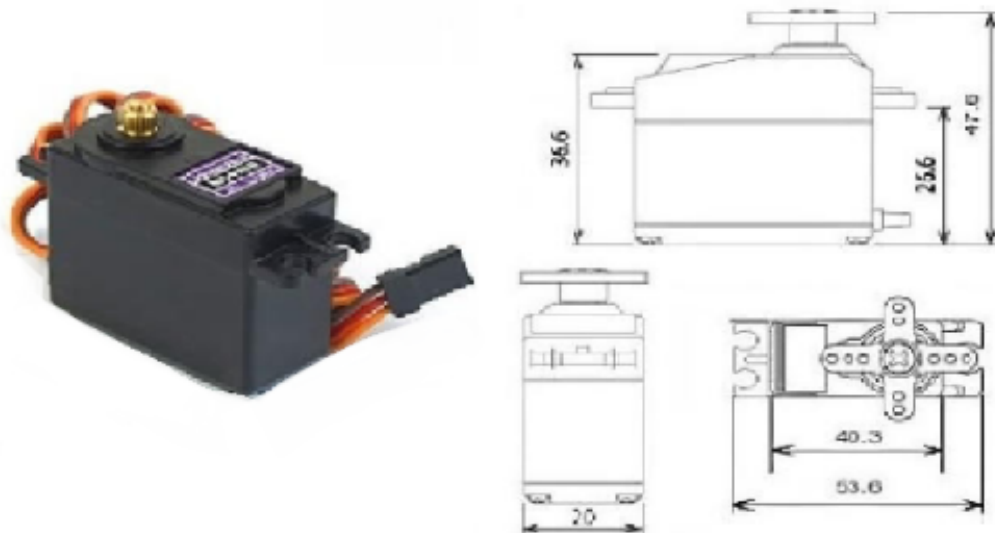
Figura 6.2: Datasheet DS3225mg

Las datasheet de los módulos utilizados en el sistema de control serán presentados a continuación

Módulo PCA9685: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/293576/NXP/PCA9685.html>.

Material PLA: https://www.bcn3d.com/wp-content/uploads/2019/09/BCN3D_FILAMENTS_TechnicalDataSheet_PLA_EN.pdf

Módulo Relé: <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/moduloRele.pdf>



- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 μ s
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 $^{\circ}$ C – 55 $^{\circ}$ C

PWM=Orange (⏏)
 Vcc = Red (+)
 Ground=Brown (–)

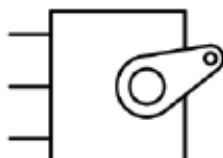
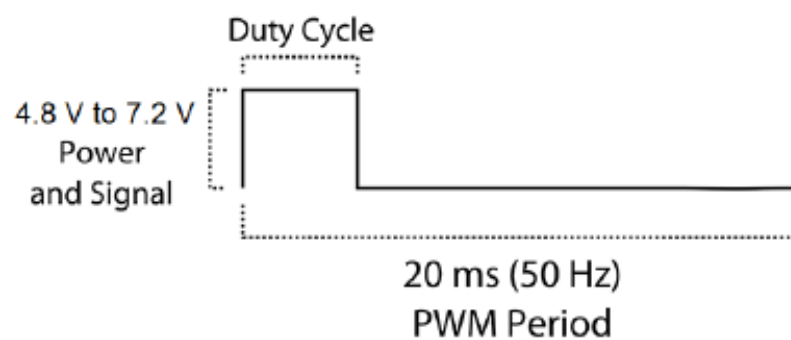
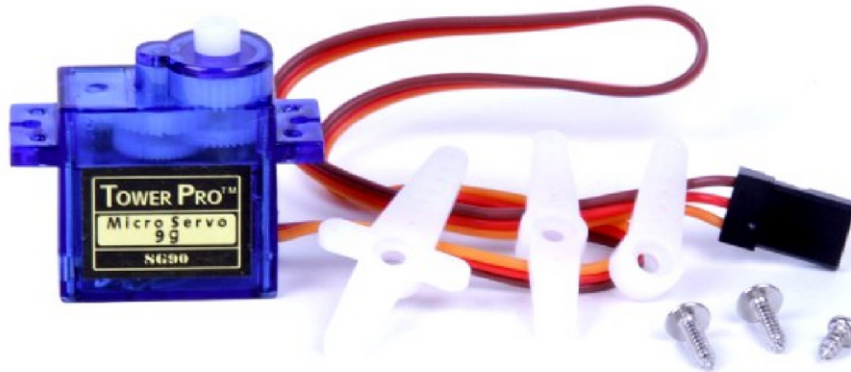



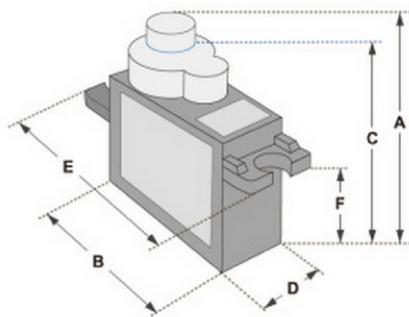
Figura 6.3: Datasheet MG996r

SERVO MOTOR SG90

FICHA DE DATOS



Diminuto y ligero con alta potencia de salida. El servo puede girar aproximadamente 180 grados (90 en cada dirección) y funciona como los tipos estándar pero más pequeños. Puede utilizar cualquier código de servo, hardware o biblioteca para controlar estos servos. Bueno para principiantes que quieren hacer que las cosas se muevan sin construir un controlador de motor con retroalimentación y caja de engranajes, especialmente porque cabe en lugares pequeños. Viene con 3 cuernos (brazos) y hardware.



Dimensions & Specifications	
A (mm) :	32
B (mm) :	23
C (mm) :	28.5
D (mm) :	12
E (mm) :	32
F (mm) :	19.5
Speed (sec) :	0.1
Torque (kg-cm) :	2.5
Weight (g) :	14.7
Voltage :	4.8 - 6

La posición "0" (pulso de 1,5 ms) es media, "90" (pulso de ~ 2 ms) es media, está completamente a la derecha, "180" (~ pulso de 1 ms) está completamente a la izquierda.

PWM=Orange (⏏)
Vcc = Red (+)
Ground=Brown (-)

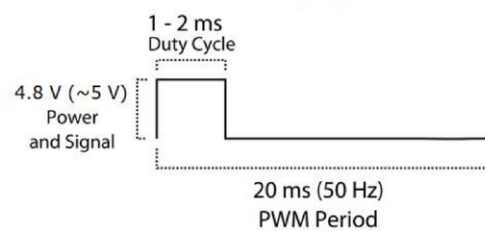


Figura 6.4: Datasheet SG90

Bibliografía

- [1] M. Abo-Zahhad, Sabah M. Ahmed, Sherif N. Abbas. "A New EEG Acquisition Protocol for Biometric Identification Using Eye Blinking Signals", En: I.J. Intelligent Systems and Applications, May 2015 in MECS, DOI: 10.5815/ijisa.2015.06.05
- [2] Dayanna Guzmán-Moyaa, Jorge Gudiño-Lauba, Luis Cordova-Alvarezc, Daniel Velez-Diazd, Janeth Alcalá-Rodríguez, Saida Charre-Ibarra, "Diadema EMOTIV EPOC+ y los gestos faciales", En: XIKUA Boletín Científico de la Escuela Superior de Tlahuelilpan, Octubre 2019, DOI: 10.29057/xikua.v7i14.4353.
- [3] Pollen Robotics, JReachy. "Reachy robot", <https://github.com/pollen-robotics/>
- [4] P4H Bionics Academy. "Modulo V8.0: Prótesis Biónicas 3D: Modelo intermedio", <https://www.p4hbionics.academy/>
- [5] A.A. Torres-García, C.A. Reyes-García, L. Villaseñor-Pineda, J.M. Ramírez-Cortés. "Análisis de Señales Electroencefalográficas para la Clasificación de Habla Imaginada", En: Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica, Abril 2013

7 Código

El código de este trabajo se encuentra disponible en <https://github.com/ValentinBarco/Brazo-Bionico.git>.