

## BRAZO ARTICULADO CONTROLADO POR VOZ PARA REHABILITACIÓN MOTORA DE PERSONAS DISCAPACITADAS DEL MIEMBRO SUPERIOR

### VOICE CONTROLLED ARTICULATED ARM FOR MOTOR REHABILITATION OF DISABLED PEOPLE OF THE UPPER LIMB

Hipólito Carbajal<sup>1</sup> 

#### Resumen

El objetivo fue diseñar un brazo articulado con control de trayectoria y velocidad por comandos de voz, para rehabilitar a personas con discapacidad motora del miembro superior. Se empleó el método sistémico; los comandos de voz se consideraron entradas al sistema, los movimientos de las articulaciones de los eslabones del brazo se consideraron las salidas. De las pruebas realizadas con el diseño se determinó que el controlador activado por comandos de voz permite mantener controlado las velocidades de los diferentes motores que constituyen las articulaciones de la muñeca, codo y el hombro; con respecto a las velocidades estas se encuentran estrechamente correlacionadas cuyos coeficientes son mayores a 0.99, lo que indica que la diferencia entre las velocidades deseadas y las obtenida tienen muy poca diferencia. En conclusión se implementó un brazo con

articulaciones de tres grados de libertad, comandados por voz mediante códigos preestablecidos, permitiendo describir de forma controlada las trayectorias de los diferentes movimientos característicos del brazo, con desplazamientos que generan rotación-elongación del hombro en el intervalo de 0° hasta 120°, codo en el intervalo de 0° hasta 120° y movimientos de la muñeca de -30° hasta 60°; para rehabilitar a personas con discapacidad motora del miembro superior.

**Palabras clave:** Comunicación inalámbrica, comandos de voz, trayectorias del brazo, rehabilitación motora.

#### Abstract

The objective was to design an articulated arm with control of trajectory and speed by voice commands, to rehabilitate people with motor disabilities of the upper limb. The systemic method was used; voice commands were considered inputs to the system; movements of the arm link joints were considered outputs. From the tests carried out with the design, it was determined that the controller activated by voice commands allows to keep controlled the speeds of the different motors that make up the wrist, elbow and shoulder joints; With respect to the speeds, these are closely

✉ Hipólito Carbajal  
hipolito.carbajal@unh.edu.pe

<sup>1</sup> Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas, Universidad Nacional de Huancavelica  
Jr. Victoria Garma N° 275 y Jr. Hipólito Unanue N° 280  
Huancavelica, Perú

correlated, whose coefficients are greater than 0.99, which indicates that the difference between the desired speeds and those obtained have very little difference. In conclusion, an arm with articulations of three degrees of freedom was implemented, commanded by voice using pre-established codes, allowing the trajectories of the different characteristic movements of the arm to be described in a controlled manner, with displacements that generate rotation-elongation of the shoulder in the interval of 0° to 120°, elbow in the range of 0° to 120° and wrist movements from -30° to 60°; to rehabilitate people with motor disabilities of the upper limb.

**Keywords:** wireless communication, voice commands, arm trajectories, motor rehabilitation.

## 1. Introducción

El Banco Mundial (2015) reporta que alrededor del 15% de la población mundial “experimenta alguna forma de discapacidad, siendo los países en vías desarrollo los más afectados por esta problemática”. La discapacidad por daños o lesiones en los miembros motores es mayor que cualquier otra discapacidad (Diaz, 2019). Las personas con discapacidad motora de los miembros superiores requieren de algún mecanismo o sistema que permita mejorar la discapacidad de miembros superiores (Velarde, 2015).

En el ámbito internacional, Muri *et al.* (2014), diseñaron un sistema para rehabilitar los brazos en entorno de realidad virtual, desarrollando un mecanismo que adquiere señales eléctricas producidas por músculos

durante el proceso de contracción y relajación, digitalizando y procesando en una PC, empleando como elemento de control de objeto de realidad virtual representado por un brazo. También Lee *et al.*, (2020) realizan un estudio de rehabilitación de las extremidades superiores empleando exoesqueleto mecanizado entre los pacientes con accidente cerebrovascular crónico con discapacidad moderada del miembro, concluyendo que es necesario profundizar las investigaciones de la utilidad del exoesqueleto.

A nivel nacional existen pocas instituciones con servicio especializado para rehabilitar a personas con discapacidad de los miembros con movimiento locomotor. Para lograr rehabilitar de esta discapacidad en varios estudios se plantean soluciones (Becerra *et al.*, 2019; Cheng & Rojas, 2019). Así como Galán (2017) diseña e implementa el control de un mecanismo externo para ejercitar extremidades superiores mediante la herramienta Matlab, obteniendo resultados muy favorables.

Este trabajo tuvo como objetivo principal diseñar un brazo articulado con control de trayectoria y velocidad por comandos de voz, para rehabilitar la actividad motora en personas discapacitadas del miembro superior.

## 2. Material y métodos

Se empleó diversos materiales para el diseño del brazo, entre los más importantes se tiene: la estructura física del mecanismo, motores de las articulaciones, software de reconocimiento de voz (Sivakumar *et al.*, 2020) con comunicación por bluetooth

(Weinthal *et al.*, 2019). Tablas de registro de datos, sensores de posición, controlador de motores y el ATmega328P de Atmel conocido como Arduino nano (Nano, 2018).

## 2.1 Estructura del mecanismo y actuadores de las articulaciones

Para implementar el mecanismo articulado se tomó en cuenta la morfología de los miembros superiores (Carrere *et al.*, 2011).

Cada miembro superior está constituido por articulaciones unidos a cuatro segmentos: hombro, brazo, antebrazo y mano. El hombro se une al brazo, el codo al antebrazo, la muñeca une a la mano con el antebrazo. Se establecieron los rangos de movimientos del mecanismo del brazo el mismo que se visualiza en la Tabla 1.

**Tabla. 1** Ángulos de movimientos de las articulaciones del mecanismo

| Articulación | Angulo                   | Rango                       | Movimiento            |
|--------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Hombro       | $\theta_{\text{Hombro}}$ | 0° hasta 120°               | Torsión - Elongación  |
| Codo         | $\theta_{\text{Codo}}$   | 0° hasta - 120°             | Torsión - Elongación  |
| Muñeca       | $\theta_{\text{Muñeca}}$ | 0° hasta -30<br>0° hasta 60 | Torsión<br>Elongación |

El brazo articulado presenta varias articulaciones que deben ser coincidentes con las articulaciones del cuerpo, por lo que fue necesario realizar las piezas de forma individual para cada segmento, para luego ensamblar (Olaya, 2008).

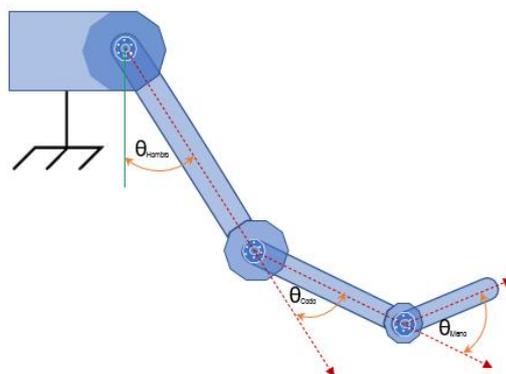
**Tabla 1.** Medidas de los segmentos del brazo articulado.

| Eslabón   | Factor*altura (H) | Medida   |
|-----------|-------------------|----------|
| Mano      | 0,108*H           | 17,28 cm |
| Antebrazo | 0,146*H           | 23,36 cm |
| Brazo     | 0,186*H           | 29,76 cm |

Para el diseño se consideró las medidas de una persona de 160 cm de altura (H), las dimensiones del brazo articulado son proporcionales al valor de H. En la Tabla 2 se tiene las medidas de los segmentos empleados en el diseño de la estructura del mecanismo.

Las articulaciones y los eslabones del mecanismo se muestran en la Figura 1, estos se diseñaron en SolidWorks por la facilidad de uso (García Sancho, 2019), en base a los valores de la Tabla 1 y Tabla 2.

**Fig. 1.** Ángulos de articulaciones y eslabones del brazo articulado



Una vez determinadas las dimensiones de las piezas, se continuó con la construcción de las piezas. Se implementó con 02 motores DC de 12 V con reductores de velocidad de 1:50, para generar movimientos controlados del hombro y codo, además se empleó un servomotor MG995 de alto torque de hasta 15 Kg/cm para generar movimientos en la muñeca (Sabino & Amaral, 2019).

Para mayor comodidad del paciente se adaptó el brazo mecánico sobre la estructura de una silla giratoria, con lo que obtuvo un brazo con movilidad (ver Figura 2) y adaptable para personas de estaturas en el rango de 1,53 a 1,75 m. Las pruebas de movilidad se llevaron a cabo con una persona de estatura H=160 y Peso 60 Kg.

**Fig. 2.** Ángulos de articulaciones y eslabones del brazo articulado



## 2.2 Sistema de reconocimiento de voz

La programación de la interface de control del mecanismo del brazo fue desarrollado en app Inventor 2 para la plataforma de Android (Patton *et al.*, 2019). Los comandos de voz fueron los que se muestran en la Tabla 3.

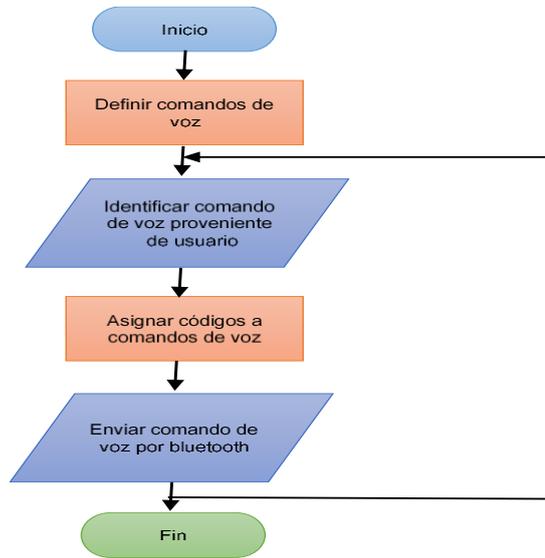
**Tabla 2.** Códigos de comando de voz

| N° | Comandos de voz           | Asignación de códigos |
|----|---------------------------|-----------------------|
| 01 | Posicionar en inicio      | "0"                   |
| 02 | Velocidad reducida        | "1"                   |
| 03 | Velocidad máxima          | "2"                   |
| 04 | Rehabilitar hombro arriba | "3"                   |
| 05 | Rehabilitar hombro abajo  | "4"                   |
| 06 | Rehabilitar codo arriba   | "5"                   |
| 07 | Rehabilitar codo abajo    | "6"                   |
| 08 | Rehabilitar muñeca arriba | "7"                   |
| 09 | Rehabilitar muñeca abajo  | "8"                   |
| 10 | Rehabilitar hombro        | "9"                   |
| 11 | Rehabilitar codo          | "A"                   |
| 12 | Rehabilitar muñeca        | "B"                   |
| 13 | Rehabilitar brazo         | "C"                   |

El usuario genera los comandos de voz que son identificados por el sistema de reconocimiento de Google Apps. El comando identificado es enviado por bluetooth con una velocidad de 9600 bps (R. García, 2020). En la Figura 3, se ilustra esta

interface. El control por voz comunicado por bluetooth se desarrolló para celulares Android (Andro4all, 2020). La Figura 4 muestra la interface de control.

**Fig. 3.** Diagrama de flujo de la generación y envío de los comandos de



**Fig. 3.** Interface de control por comandos de voz para Android



En la Figura 5 se tiene el bloque que permitió la conexión por bluetooth. En la Figura 6 y Figura 7 se desarrolló el bloque

que permite generar y enviar los códigos de control enviando por bluetooth.

**Fig. 4** Bloque de conexión de comunicación bluetooth

```

cuando Screen1 . BotónAtrás
ejecutar
  si
    no BluetoothClient1 . Habilitado
    entonces
      poner BtnEstadoConexion . Texto como "Bluetooth desactivado, favor de activarlo"
      poner BtnReconocimiento . Habilitado como falso
      poner TxtComando . Texto como "Comandos"
      poner BtnTitulo . Habilitado como falso
      poner TxtComando . Habilitado como falso

cuando ListSeleccionBT . AntesDeSelección
ejecutar
  poner ListSeleccionBT . Elementos como BluetoothClient1 . DireccionesYNombres
  poner BtnEstadoConexion . Texto como "Conecta"

cuando ListSeleccionBT . DespuésDeSelección
ejecutar
  poner ListSeleccionBT . Selección como llamar BluetoothClient1 . Conectar dirección ListSeleccionBT . Selección
  poner BtnEstadoConexion . Texto como "Conectado"
  poner BtnReconocimiento . Habilitado como cierto
  poner ListSeleccionBT . Texto como ListSeleccionBT . Selección
  
```

**Fig. 5.** Programa scratch para reconocimiento del comando de voz y envío por bluetooth

```

cuando BtnReconocimiento . Clic
ejecutar
  llamar SpeechRecognizer1 . ObtenerTexto

cuando SpeechRecognizer1 . DespuésDeObtenerTexto
ejecutar
  llamar Notifier1 . MostrarAlerta
  aviso tomar Resultado
  si
    tomar Resultado = "posición inicial"
    entonces
      llamar BluetoothClient1 . EnviarTexto
      texto "0"
      llamar TextToSpeech1 . Hablar
      mensaje tomar Resultado
      poner TxtComando . Texto como SpeechRecognizer1 . Resultado
  si
    tomar Resultado = "velocidad baja"
    entonces
      llamar BluetoothClient1 . EnviarTexto
      texto "1"
      llamar TextToSpeech1 . Hablar
  si
    tomar Resultado = "velocidad máxima"
    entonces
      llamar BluetoothClient1 . EnviarTexto
      texto "2"
      llamar TextToSpeech1 . Hablar
      mensaje tomar Resultado
      poner TxtComando . Texto como SpeechRecognizer1 . Resultado
  si
    tomar Resultado = "rehabilitación hombro arriba"
    entonces
      llamar BluetoothClient1 . EnviarTexto
      texto "3"
      llamar TextToSpeech1 . Hablar
      mensaje tomar Resultado
      poner TxtComando . Texto como SpeechRecognizer1 . Resultado
  si
    tomar Resultado = "rehabilitación hombro abajo"
    entonces
      llamar BluetoothClient1 . EnviarTexto
      texto "3"
      llamar TextToSpeech1 . Hablar
      mensaje tomar Resultado
      poner TxtComando . Texto como SpeechRecognizer1 . Resultado
  si
    tomar Resultado = "rehabilitación codo arriba"
    entonces
      llamar BluetoothClient1 . EnviarTexto
      texto "3"
      llamar TextToSpeech1 . Hablar
      mensaje tomar Resultado
      poner TxtComando . Texto como SpeechRecognizer1 . Resultado
  si
    tomar Resultado = "rehabilitación codo abajo"
    entonces
      llamar BluetoothClient1 . EnviarTexto
      texto "3"
      llamar TextToSpeech1 . Hablar
      mensaje tomar Resultado
      poner TxtComando . Texto como SpeechRecognizer1 . Resultado
  
```

**Figura 6.** Continuación del programa scratch para reconocimiento del comando de voz y envío por bluetooth

The image shows a vertical stack of Scratch code blocks. Each block starts with a 'si' (if) block containing a 'tomar Resultado' (get result) block with a specific command string. This is followed by an 'entonces' (then) block containing three sub-blocks: 'llamar BluetoothClient1 .EnviarTexto' (call BluetoothClient1 .EnviarTexto) with a 'texto' (text) block, 'llamar TextToSpeech1 .Hablar' (call TextToSpeech1 .Hablar) with a 'mensaje' (message) block, and 'poner TxtComando .Texto como SpeechRecognizer1 .Resultado' (set TxtComando .Texto as SpeechRecognizer1 .Resultado).

```
si [tomar Resultado] = "rehabilitación muñeca arriba" entonces
  llamar BluetoothClient1 .EnviarTexto texto "7"
  llamar TextToSpeech1 .Hablar mensaje tomar Resultado
  poner TxtComando .Texto como SpeechRecognizer1 .Resultado

si [tomar Resultado] = "rehabilitación muñeca abajo" entonces
  llamar BluetoothClient1 .EnviarTexto texto "8"
  llamar TextToSpeech1 .Hablar mensaje tomar Resultado
  poner TxtComando .Texto como SpeechRecognizer1 .Resultado

si [tomar Resultado] = "rehabilitación hombro" entonces
  llamar BluetoothClient1 .EnviarTexto texto "9"
  llamar TextToSpeech1 .Hablar mensaje tomar Resultado
  poner TxtComando .Texto como SpeechRecognizer1 .Resultado

si [tomar Resultado] = "rehabilitación codo" entonces
  llamar BluetoothClient1 .EnviarTexto texto "A"
  llamar TextToSpeech1 .Hablar mensaje tomar Resultado
  poner TxtComando .Texto como SpeechRecognizer1 .Resultado

si [tomar Resultado] = "rehabilitación muñeca" entonces
  llamar BluetoothClient1 .EnviarTexto texto "B"
  llamar TextToSpeech1 .Hablar mensaje tomar Resultado
  poner TxtComando .Texto como SpeechRecognizer1 .Resultado

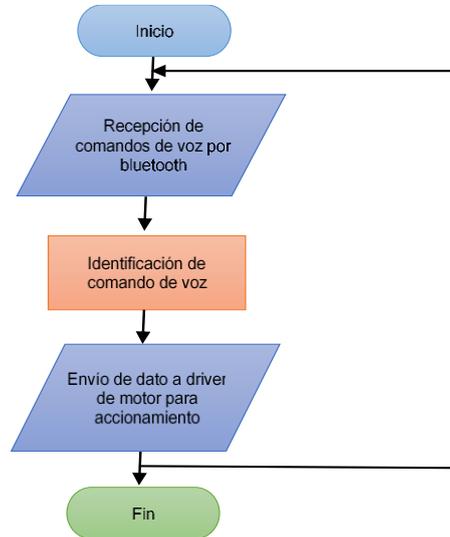
si [tomar Resultado] = "rehabilitación brazo" entonces
  llamar BluetoothClient1 .EnviarTexto texto "C"
  llamar TextToSpeech1 .Hablar mensaje tomar Resultado
  poner TxtComando .Texto como SpeechRecognizer1 .Resultado
```

### 2.3 Módulo de control del mecanismo

El mecanismo se controla por el algoritmo que se implementó en Arduino por medio de bluetooth con la aplicación implementada

también para Android. El diagrama de flujo de la operación del brazo articulado se muestra en la Figura 8.

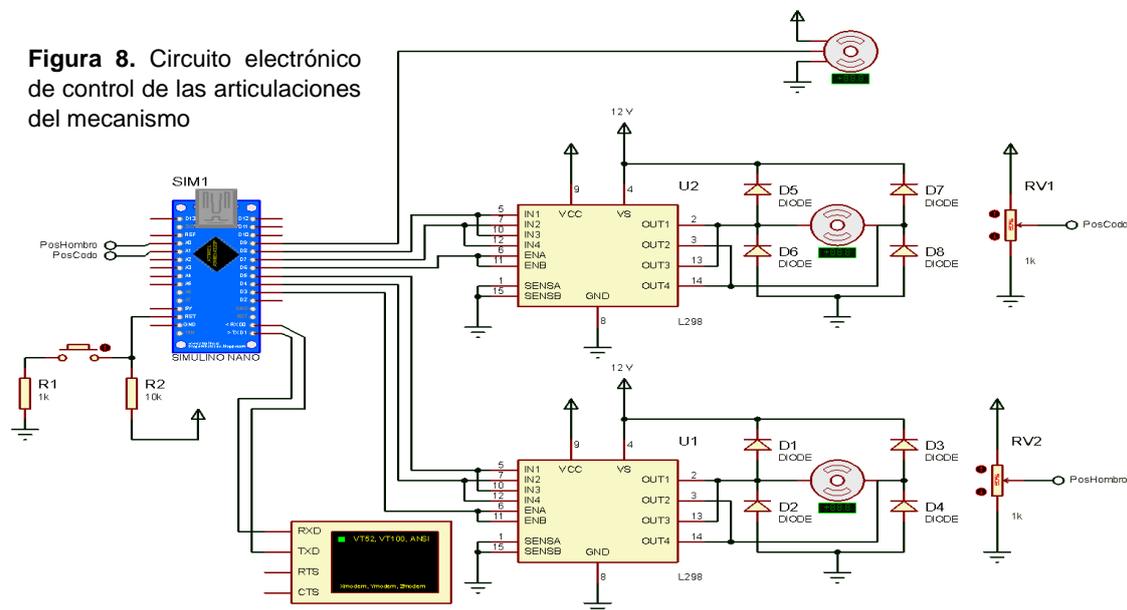
**Figura 7.** Diagrama de flujo de la recepción de comandos y operación de accionamientos de los motores del brazo.



El circuito electrónico fue desarrollado en Proteus (García, 2008), para el control de

las tres articulaciones del brazo mecánico se ve en la figura 9.

**Figura 8.** Circuito electrónico de control de las articulaciones del mecanismo



Los sensores resistivos de posición angular (Techlandia, 2016), informan de manera constante la posición de las articulaciones por medio de las entradas analógicas del Arduino nano. El programa cargado en Arduino identifica el comando enviado por el

usuario y ejecuta la acción correspondiente enviando señales de control a los actuadores.

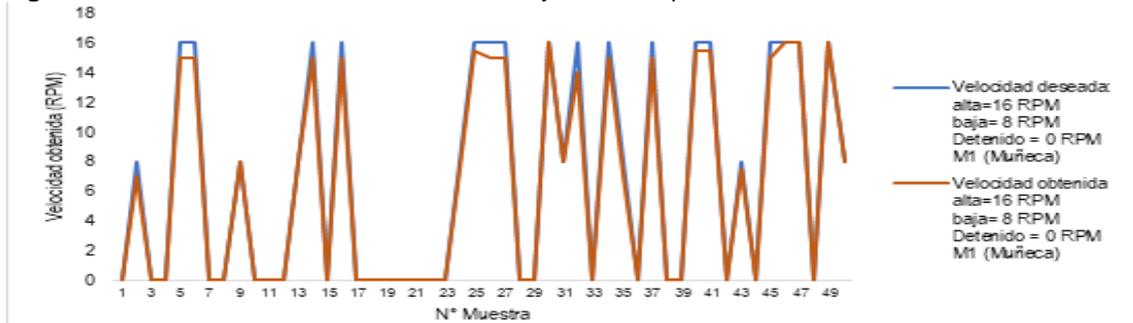
### 3. Resultados

Diseñado el brazo articulado se realizaron pruebas de funcionamiento con 50 muestras por cada articulación (muñeca, codo, hombro) y muestras de igual cantidad para cada trayectoria descrita por la mano, antebrazo y brazo.

#### 3.1 Resultado de funcionamiento de la articulación muñeca

La figura 10 nos permite observar diferencias entre las velocidades que el usuario deseó y el obtenido para la articulación de la muñeca.

**Fig. 9.** Diferencia entre las velocidades deseadas y obtenidas para la articulación de la muñeca



Al analizar el valor de las velocidades deseadas por el usuario y las obtenidas en la articulación de la muñeca como se ve en la Tabla 3, se obtiene una correlación de 0,999, esto denota una alta correlación de estas velocidades.

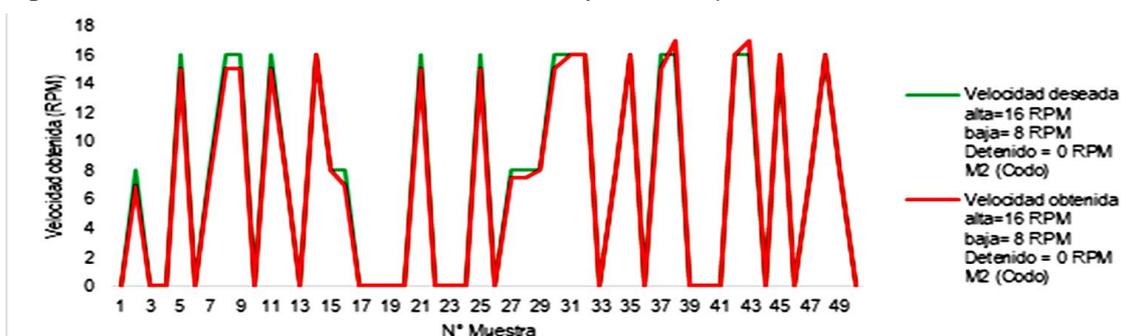
#### 3.2 Resultado de funcionamiento de articulación del codo

La Figura 11 permite visualizar una ligera variación entre la velocidad deseada y la velocidad obtenida para la articulación del codo. El valor de la correlación es de 0.998, como se muestra en la Tabla 4, este valor denota una alta correlación.

**Tabla 3.** Correlación de las muestras para la articulación de la muñeca.

|       |  | N  | Correlación |
|-------|--|----|-------------|
| Par 1 | Velocidad_deseada_Motor1_Muñeca & Velocidad_obtenida_Motor1_Muñeca | 50 | 0.999       |

**Figura 10.** Diferencia entre las velocidades deseadas y obtenidas para la articulación del codo



**Tabla 4.** Correlación de las muestras para la articulación del codo

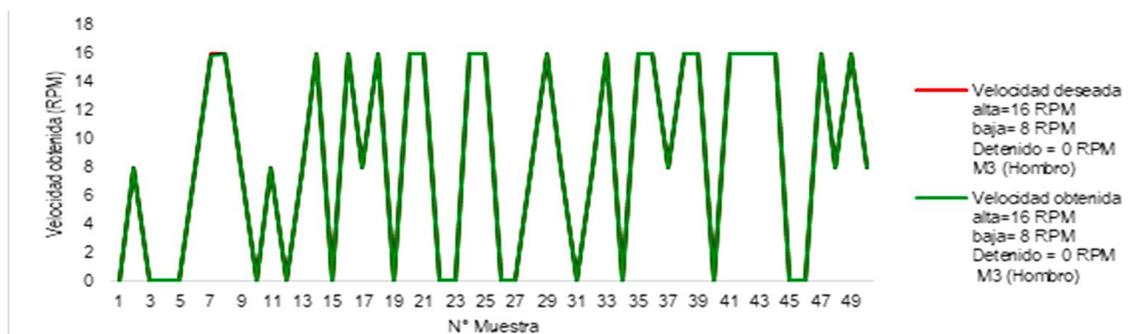
|       |   | N    | Correlación |
|-------|---|------|-------------|
| Par 1 | Velocidad_deseada_Motor2_Codo<br>Velocidad_obtenida_Motor2_Codo | & 50 | 0,998       |

### 3.3 Resultado de funcionamiento de articulación de hombro

velocidad obtenida para la articulación que soporta al resto de actuadores eslabones como es el hombro.

La Figura 12 hace notar una ligera variación de la velocidad que desea el usuario con la

**Fig. 11.** Diferencia entre las velocidades deseadas y obtenidas para la articulación del hombro



De la Tabla 6 la correlación es 1,00, superior a las otras articulaciones, esto indica igualdad entre lo deseado y lo

obtenido para las velocidades de la articulación del hombro.

**Tabla 5.** Correlación de las muestras para la articulación del hombro

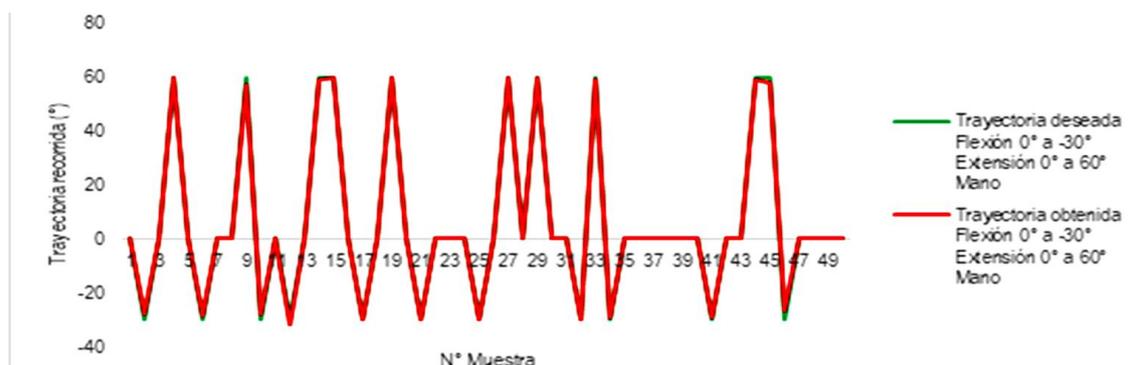
|       |   | N    | Correlación |
|-------|---|------|-------------|
| Par 1 | Velocidad_deseada_Motor3_Hombro<br>Velocidad_obtenida_Motor3_Hombro | & 50 | 1,00        |

### 3.4 Resultado de la trayectoria que recorre la mano

segmento que constituye la mano, obteniendo una correlación de 1,00; lo que indica que los movimientos son los deseados.

La Figura 13 visualiza la diferencia entre las trayectorias deseadas y obtenidas para el

**Fig. 12.** Resultado de trayectoria deseada versus trayectoria obtenida en la mano del mecanismo del brazo articulado

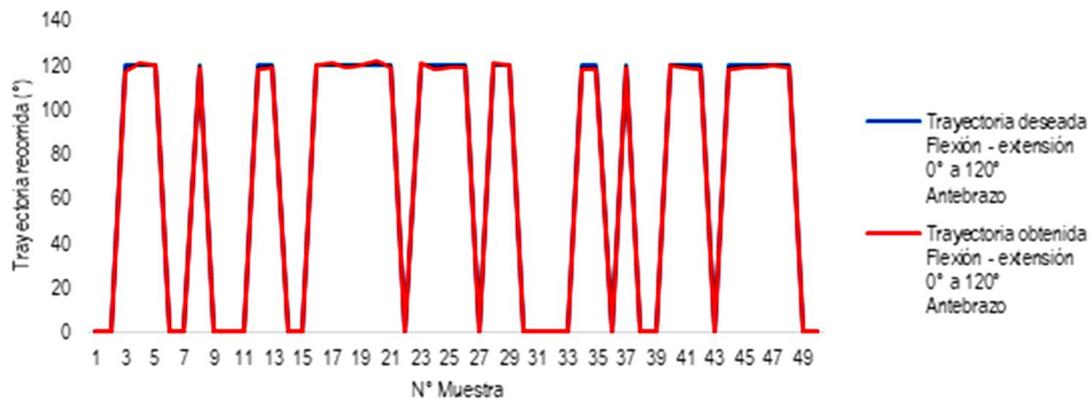


### 3.5 Resultado de trayectoria que recorre el antebrazo

La Figura 14 permite observar la diferencia de trayectorias recorridas por el antebrazo

entre lo deseado y lo obtenido con una correlación de 1,00; lo que indica que se obtiene la trayectoria deseada.

Fig. 13. Resultado de la trayectoria que recorre el antebrazo



### 3.6 Resultado de la trayectoria recorrida por el brazo

La Figura 15 permite observar un poco variación de la trayectoria deseada versus la

obtenida para el segmento del antebrazo con una correlación de 1,00; lo que indica que las trayectorias son las deseadas.

Figura 14. Resultado de trayectoria descrita por el brazo



## 4. Discusión

De los resultados obtenidos el controlador con algoritmo programado en Arduino con componente de comandos de voz con envío de datos por bluetooth, controla las trayectorias de movimientos de torsión-elongación del hombro de 0° hasta 120°, movimientos de torsión-elongación del codo de 0° hasta 120° y movimientos de torsión-elongación de la muñeca de -30° hasta 60°; con las articulaciones del mecanismo del

brazo de tres grados de libertad. Así mismo el trabajo estuvo enfocado en dar apoyo en rehabilitación motriz de personas con discapacidad del miembro superior.

Los resultados guardan similitud en respuesta con el trabajo de Muri *et al.*, (2014), que diseñaron un mecanismo para rehabilitar articulaciones empleando realidad virtual, siendo el sistema capaz de adquirir señales eléctricas de la superficie de la piel, digitalizarlas y posteriormente

procesarlas en una PC; para ser usadas en miembros superiores virtualizados. Así mismo con el trabajo planteado por Galán (2017) que diseña e implementa el control de un exoesqueleto empleado en la rehabilitación de extremidades superiores mediante la herramienta Matlab, para la operación adecuada del sistema se realizó la programación de un algoritmo que interpola y modifica parámetros dependiendo de las señales de control logrando resultados favorables.

Existen muchas posibilidades tecnológicas para desarrollar mecanismos que apoyen a personas con discapacidad, por lo que se debe realizar investigaciones buscando la utilidad para personas con discapacidad.

## 5. Conclusión

Se diseñó un brazo con 03 articulaciones con control de trayectoria y velocidad por comandos de que generan torsión-elongación del hombro en el intervalo de 0° hasta 120°, codo en el intervalo de 0° hasta 120° y movimientos de la muñeca de -30° hasta 60°; lo que permite rehabilitar a personas con discapacidad motora del miembro superior.

## Referencias bibliográficas

- Andro4all. (2020). *Versiones de Android: de la primera a la última versión de Android*.  
<https://andro4all.com/guias/android/versiones-android-historia>
- Becerra, A. D., Florez, J. P., Palencia, D. O., Orjuela, J., López, E. A., & Méndez, L. M. (2019). ExPro: Exoesqueleto para rehabilitación de miembro superior. *Bistua: Revista de La Facultad de Ciencias Básicas*, 17(3).
- Carrere, M. T. A., Méndez, A. Á., & Peñaranda, Y. F. (2011). Biomecánica clínica. Biomecánica de la Extremidad Superior. Exploración del Codo. *REDUCA (Enfermería, Fisioterapia y Podología)*, 3(4).
- Cheng, O. E., & Rojas, L. F. del R. (2019). *Diseño y construcción de un prototipo de exoesqueleto de rehabilitación para miembro superior*.
- Díaz, J. R. (2019). Discapacidad en el Perú: Un análisis de la realidad a partir de datos estadísticos. *Revista Venezolana de Gerencia*, 24(85), 243–263.  
<https://doi.org/10.31876/revista.v24i85.23838>
- Galán, F. W. (2017). *Diseño, implementación y control de un exoesqueleto para rehabilitación de extremidades superiores*.
- García, E. (2008). *Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores Pic*. Alfaomega, Marcombo.
- García, R. (2020). *Qué es Bluetooth: Características, protocolos, versiones y usos*.  
<https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/bluetooth/>
- García Sancho, A. (2019). *Manual para el diseño paramétrico con SolidWorks*.
- Lee, S. H., Park, G., Cho, D. Y., Kim, H. Y., Lee, J.-Y., Kim, S., Park, S.-B., & Shin, J.-H. (2020). Comparisons between end-effector and exoskeleton rehabilitation robots regarding upper extremity function among chronic stroke patients with moderate-to-severe upper limb impairment.

- Scientific Reports*, 10(1).  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-58630-2>
- Muri, F., Carbajal, C., Pérez, E., Fernández, H., Echenique, A. M., & López, N. (2014). Diseño de un sistema de rehabilitación para miembro superior en entorno de realidad virtual. *Ingeniería Biomédica*, 7(14).  
<https://doi.org/10.24050/19099762.n14.2013.475>
- Nano, A. (2018). *Arduino Nano*. Obtenido de Arduino: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>.
- Olaya, A. F. R. (2008). Sistema robótico multimodal para análisis y estudios en biomecánica, movimiento humano y control neuromotor. *Madrid: Universidad Carlos III, Departamento Ingeniería de Sistemas y Automática*.
- Patton, E. W., Tissenbaum, M., & Harunani, F. (2019). MIT app inventor: Objectives, design, and development. In *Computational thinking education* (pp. 31–49). Springer, Singapore.
- Sabino, M. M., & Amaral, I. S. S. (2019). Desenvolvimento de braço robótico para auxílio em movimentos repetitivos para reabilitação motora: estudo de caso do robô doméstico br. arm. *Revista Computação Aplicada-UNG-Ser*, 5(1), 5–12.
- Sivakumar, A., Jain, K. A., & Maalouf, A. I. (2020). *Voice Controlled Servo Motor Using an Android Application*.  
<https://doi.org/10.1109/WF-IoT48130.2020.9221333>
- Techlandia. (2016). *Diferencias entre potenciómetros lineales y logarítmicos*.  
[https://techlandia.com/diferencias-potenciometros-lineales-logaritmicos-sobre\\_579328/](https://techlandia.com/diferencias-potenciometros-lineales-logaritmicos-sobre_579328/)
- Velarde, A. (2015). *Inclusión de las personas con discapacidades sensoriales y físicas en el mercado laboral: el caso de Lima-Perú*.
- Weinthal, C. P., Larrondo-Petrie, M. M., & Zapata-Rivera, L. F. (2019). *Academic Integrity Assurance Methods and Tools for Laboratory Settings. 2019-October*.  
<https://doi.org/10.1109/FIE43999.2019.9028482>
- World Bank. (2015). *Disability*.  
<http://www.worldbank.org/en/topic/disability/overview#1>