

Brazo robótico con dieciocho grados de libertad tele-operado por un guante electrónico

Design of an eighteen degrees-of-freedom robotic arm with teleoperation by an electronic glove

Carlos Arturo ROBLES Algarín [1](#); Darío José ROMÁN Ortega [2](#); Aura Margarita POLO Llanos [3](#)

Recibido: 07/08/16 • Aprobado: 28/08/2016

Contenido

- [1. Introducción](#)
- [2. Materiales y métodos](#)
- [3. Discusión de Resultados](#)
- [4. Conclusiones](#)
- [Referencias](#)

RESUMEN:

Se presenta el diseño e implementación de un prototipo de brazo robótico antropomórfico y un guante electrónico que es capaz de registrar los movimientos realizados por la extremidad de una persona. Este dispositivo reconoce los movimientos de los usuarios gracias a sensores de flexión posicionados en las articulaciones de interés. Los sensores están conectados a un conjunto de microcontroladores que se encargan de controlar el brazo de forma inalámbrica. Se obtuvo como resultado un brazo robótico completamente funcional conformado por una mano y un conjunto brazo-antebrazo con un total de dieciocho grados de libertad.

Palabras claves: Brazo Robótico, Guante Electrónico, Grados de Libertad, Microcontroladores, Sensores de Flexión.

ABSTRACT:

The design and implementation of an anthropomorphic robotic arm and an electronic glove that is able to record the movements made by the tip of a person is presented. This device recognizes the movements of users through flex sensors positioned in the joints of interest. The sensors are connected to a set of microcontrollers that are responsible for controlling the arm with wireless technology. A functional robotic arm consisting of a hand and arm-forearm with a total of eighteen degrees of freedom was obtained.

Keywords: Robotic Arm, Electronic Glove, Degree-of-Freedom, Microcontrollers, Flex Sensors.

1. Introducción

En los últimos años los brazos robóticos y las manos robóticas han ganado cada vez más atención debido a su diversidad de aplicaciones en el campo industrial. Se han realizado

avances significativos en el ámbito médico, aplicaciones militares, marinas, entretenimiento, aplicaciones del hogar y exploración espacial (Chopade, Kauthalkar, & Bhandari, 2013). Existen diferentes tipos de diseños para los brazos robóticos los cuales cuentan con características básicas que definen su rendimiento como los rangos de operación, grados de libertad, velocidad, fuerza, número de miembros, articulaciones y precisión.

Los brazos robóticos incorporan un efector final el cual es el encargado de interactuar con el medio y su naturaleza exacta depende de la aplicación del robot. Por lo general, el efector es algún tipo de pinza o herramienta y en algunos casos es una mano antropomórfica. Las herramientas son utilizadas para diversos fines incluidas las condiciones de trabajo en las que peligra la integridad de los seres humanos.

En la literatura científica se encuentran desarrollos de varios tipos de brazos robóticos en las diferentes áreas del conocimiento. En el área de las ciencias de la salud se encuentran aplicaciones de un brazo robótico para realizar ultrasonidos cardíacos de forma remota (Arbeille, Provost, Zuj, Dimouro, & Georgescu, 2014), diseño de un guante robótico para aumentar la rehabilitación de la mano (Polygerinos, Wang, Galloway, Wood, & Walsh, 2015) y el diseño de un brazo robótico con músculos artificiales para aplicaciones en tele-medicina (Jobbágy, Šimšík, KarchÉák, & Onofrejová, 2014).

Adicionalmente, se han desarrollado brazos robóticos controlados por internet con la capacidad de realizar actividades específicas en los hogares (Makhtar, y otros, 2012), brazos robóticos con cuatro y nueve grados de libertad con diferentes capacidades de agarre para realizar tareas varias (Sharma & Noel, 2012) (Rahman, Khan, Ahmed, & Sajjad, 2013) y un brazo robótico utilizando microcontroladores y sensores de flexión. (Syed, Agasbal, Melligeri, & Gudur, 2012).

Teniendo en cuenta el contexto anterior, en el presente trabajo se presenta en detalle el proceso de diseño mecánico para un brazo robótico y un guante electrónico con conexión inalámbrica. Se detalla el diagrama de bloques del hardware diseñado y la estructura de la programación de los microcontroladores utilizados. Finalmente se realiza el análisis de resultados y se muestran las conclusiones.

2. Materiales y métodos

2.1. Diseño del brazo robótico

Se diseñó un brazo robótico antropomórfico similar a la extremidad superior del ser humano, que cuenta con tres grados de libertad por cada dedo, dos más por las articulaciones del codo y la muñeca y uno adicional por el movimiento de rotación del antebrazo; para un total de dieciocho grados de libertad. Para el proceso de diseño inicialmente se realizó un modelo de pruebas que se elaboró con tubos plásticos y un disco compacto como se puede observar en la Figura 1.



Figura 1. Modelo preliminar de la mano. Fuente: elaboración propia.

El diseño final para cada dedo puede verse en la Figura 2 en la que se detallan los elementos contruidos para la emulación del movimiento de la mano. Se observa la posición de los resortes, las articulaciones, las falanges y los hilos empleados como tendones. Las articulaciones interfalángicas (art 1 y art 2) se flexionan utilizando el mismo actuador, esta determinación se tomó puesto que en la dinámica cotidiana de los dedos estas articulaciones se flexionan a la vez. La articulación metacarpofalángica (art 3) posee un actuador diferente.

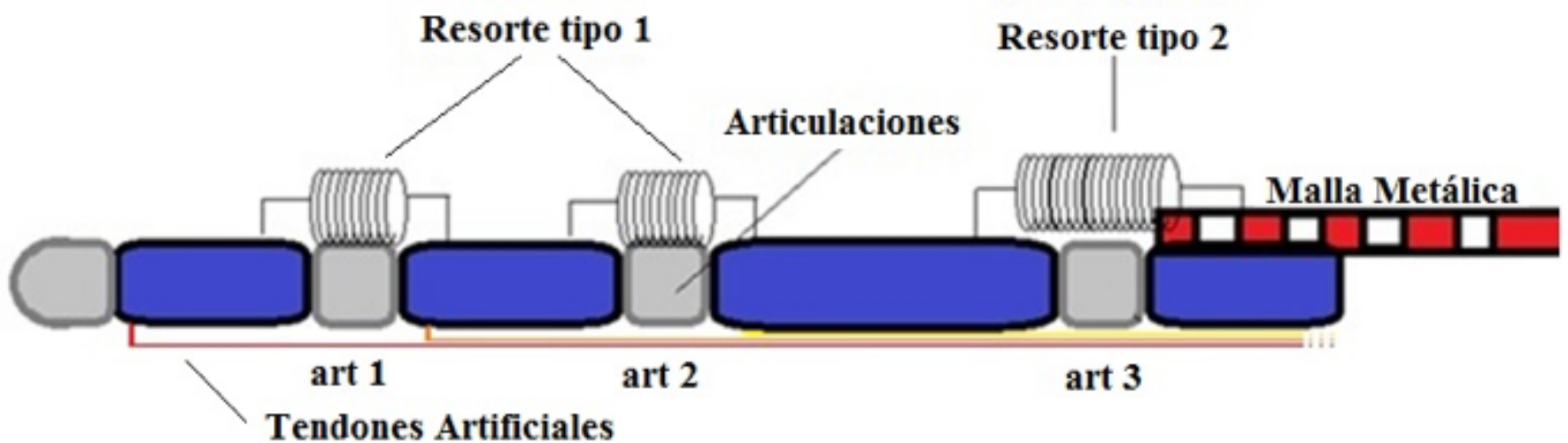


Figura 2. Diseño final para los dedos. Fuente: elaboración propia.

A partir del modelo preliminar se empezó la construcción del prototipo final de la mano, para el cual se usaron tubos de aluminio 7/36 pulgadas de diámetro. Los tubos son las falanges y el largo de cada uno de ellos se ajustó de acuerdo a las medidas del modelo preliminar. Para las articulaciones se moldeó plástico de tal manera que cada articulación entrara en los tubos previamente cortados.

Una vez se finalizó con el diseño de los dedos, se procedió a finalizar la mano la cual se terminó de construir con dos partes: una estructura para soportar los dedos y una cubierta. El soporte se construyó con una malla metálica, en la que se apoyan los dedos partiendo desde lo que serían la réplica de los huesos metacarpianos, las guías de los tendones y el soporte de la articulación de la muñeca. Se utilizó una lámina metálica de pequeño grosor para darle forma. En la Figura 3 se muestra el soporte realizado para la mano acoplado con todos los dedos.

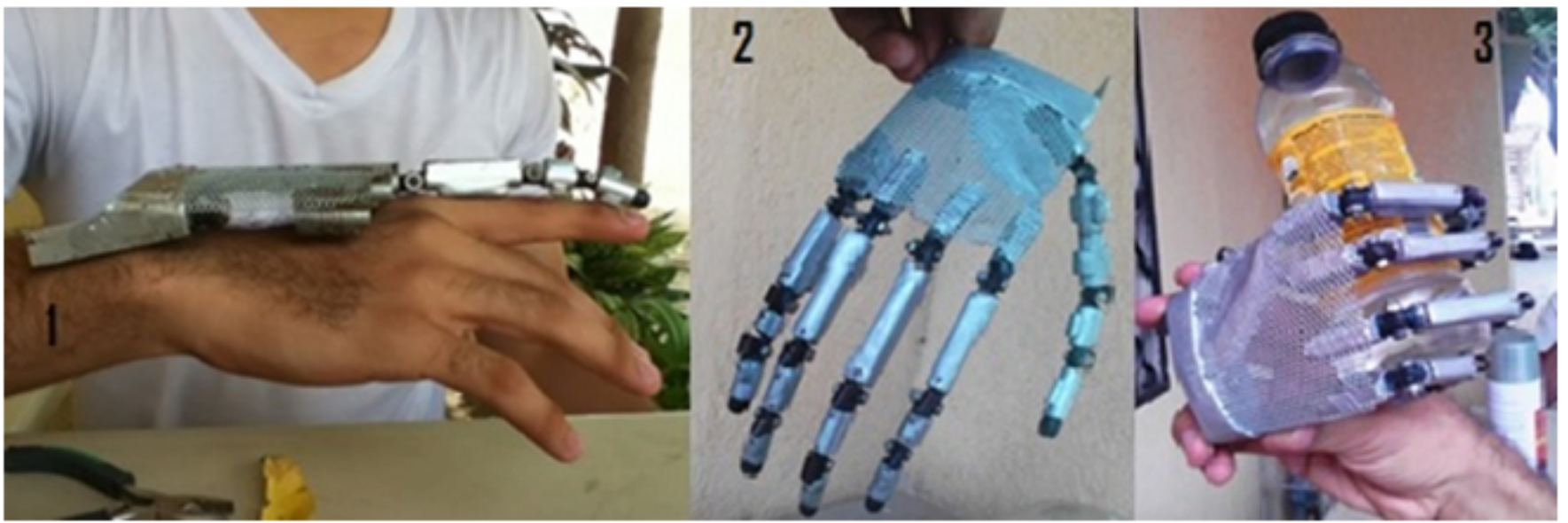


Figura 3. Diseño de la mano. Fuente: elaboración propia.

La siguiente tarea fue el diseño del antebrazo, el cual fue implementado utilizando principalmente acrílico blanco, sobre el cual se ubicaron los actuadores. Para el acople de los tendones con los actuadores se diseñaron un conjunto de adaptadores que le agregaron la funcionalidad requerida al antebrazo. Para los actuadores se utilizaron servomotores de 1.6 Kg de torque y piñonera plástica para mover las dos articulaciones más alejadas de cada dedo. Para los nudos o artejos se utilizaron servomotores de 3.0 Kg de torque y piñonera metálica, para las restantes articulaciones se utilizaron servomotores de 6.0 Kg de torque.

Al realizar el acople de la mano con el antebrazo e instalar los servomotores, se obtuvo el resultado de la Figura 4. Se puede observar un brazo antropomórfico y de proporciones similares a extremidad real. El dispositivo adicional sobre el final del antebrazo se encarga de emular el movimiento de rotación de esta parte de la extremidad. Este movimiento es nombrado como pronosupinación y si se toma como punto de referencia el codo, la mano hace un giro de 180 grados. El movimiento de pronosupinación fue entonces emulado por una pieza con un disco giratorio más un soporte fijo para el servomotor, el resto del antebrazo fue sujetado al disco giratorio de tal manera que cuando se presente una rotación, también lo haga todo el brazo.

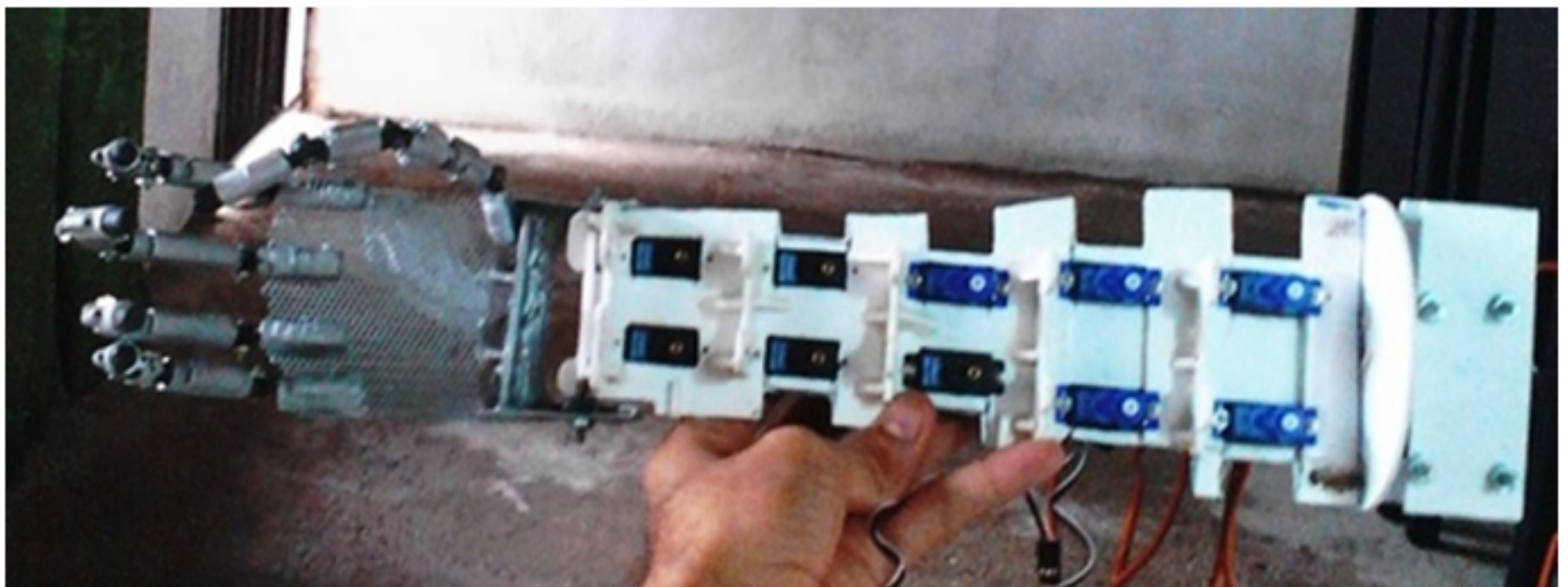


Figura 4. Mano y antebrazo con actuadores acoplados. Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta todo lo descrito, el diseño cumple con 17 de los 18 grados de libertad. El grado de libertad restante se logró con la implementación de la segunda parte del codo. Para esto se implementó un sistema parecido al usado en la muñeca pero usando tubos de PVC de

cuatro pulgadas; del cual se cortaron dos piezas, una para acoplarla al dispositivo de pronosupinación y otra para que conformara el antebrazo del prototipo. En la Figura 5 se muestra en detalle el acople del codo con los diseños anteriores.

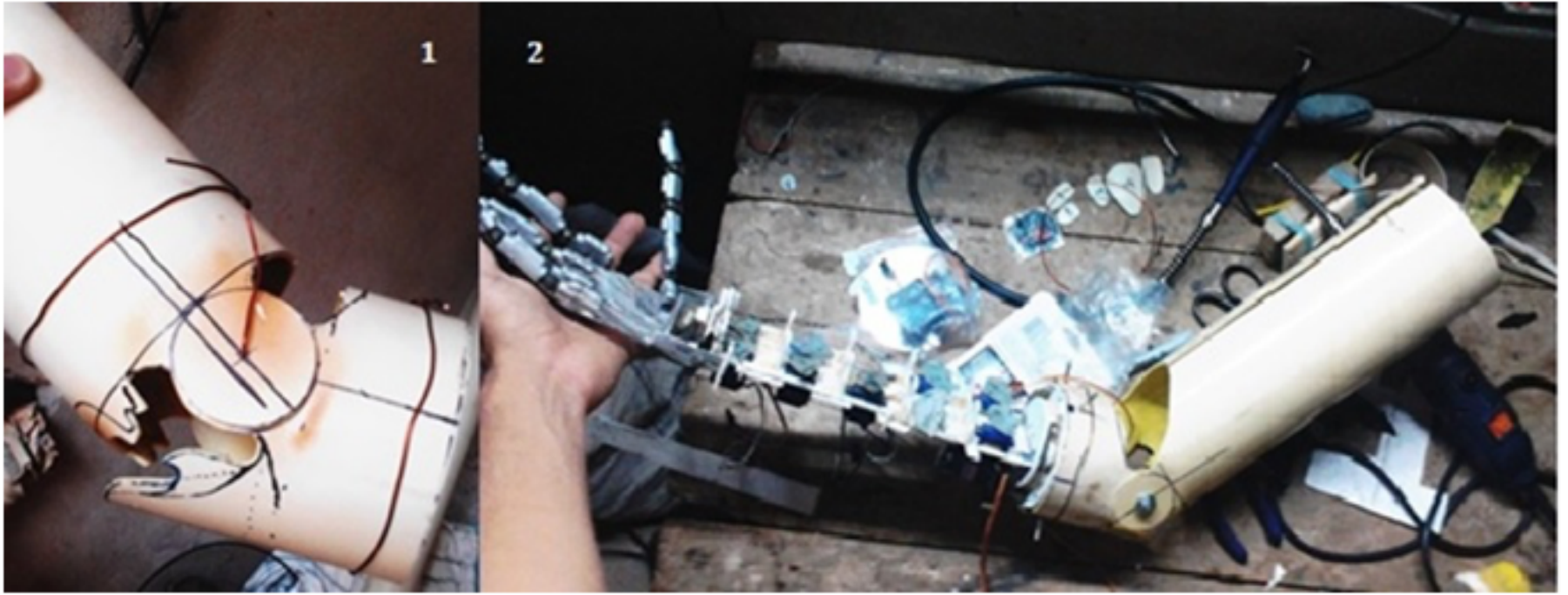


Figura 5. Implementación del codo con el antebrazo. Fuente: elaboración propia

2.2. Diseño del guante electrónico

El guante es el dispositivo que registra los movimientos del usuario para ser replicados en el brazo robótico. Para su diseño se tuvieron en cuenta múltiples formas de obtener la información sobre el movimiento de cada uno de las falanges y las articulaciones asociadas optando por la utilización de sensores de tipo resistivo en cada una de las articulaciones de interés. Para las articulaciones interfalángicas y metacarpofalángicas se utilizaron sensores de flexión de 2.2 pulgadas y para las restantes se diseñaron sensores específicos a partir de potenciómetros lineales (Verma, 2013) (Doshi, Parekh, & Bhowmick, 2015). En la Figura 6 se evidencia la instalación de los sensores en el guante de tela utilizado. Se recurrió a cable plano tipo ribbon para realizar las conexiones y lograr un resultado estéticamente aceptable.



Figura 6. Funda para los sensores de flexión y acople al guante. Fuente: elaboración propia

Para el sensor de pronosupinación fue necesario trasladar un punto de referencia hasta la muñeca, para lo cual se diseñó una pieza adicional con tubo PVC de 3 pulgadas. Esta pieza

además sirvió para la instalación del potenciómetro lineal utilizado como sensor como se puede observar en la Figura 7.

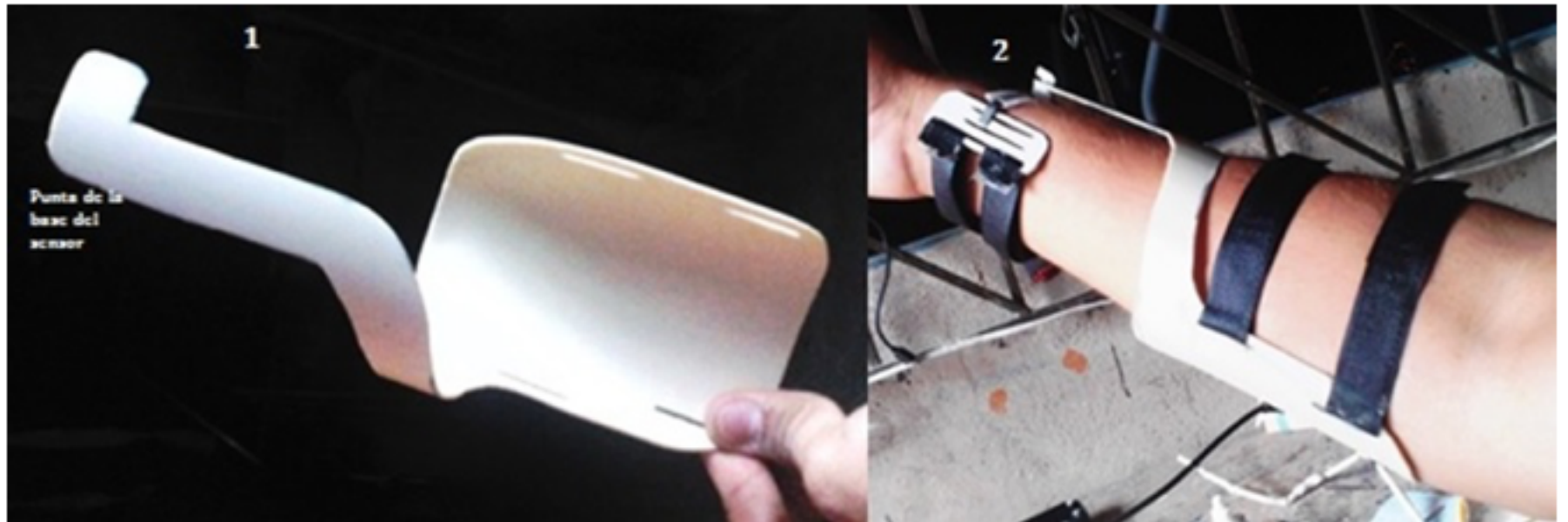


Figura 7. Sensor de pronosupinación. Fuente: elaboración propia

Los sensores para la muñeca y el codo son muy similares y siguen el mismo principio: la base de un potenciómetro lineal es fijada mediante un soporte de plástico al eje de rotación de la articulación y el eje del potenciómetro es sujetado con un soporte al lado contrario. Por último se realizaron algunos ajustes estéticos en el guante y se recubrieron los sensores de flexión con teflón para protegerlos del sudor.

2.3. Diseño electrónico del dispositivo

En la Figura 8 se muestra el diagrama de bloques de los dispositivos electrónicos utilizados para el guante electrónico y el brazo robótico. Se utilizan un total de 6 microcontroladores ATmega y la conexión entre los dispositivos se realiza a través de los módulos bluetooth HC-06.

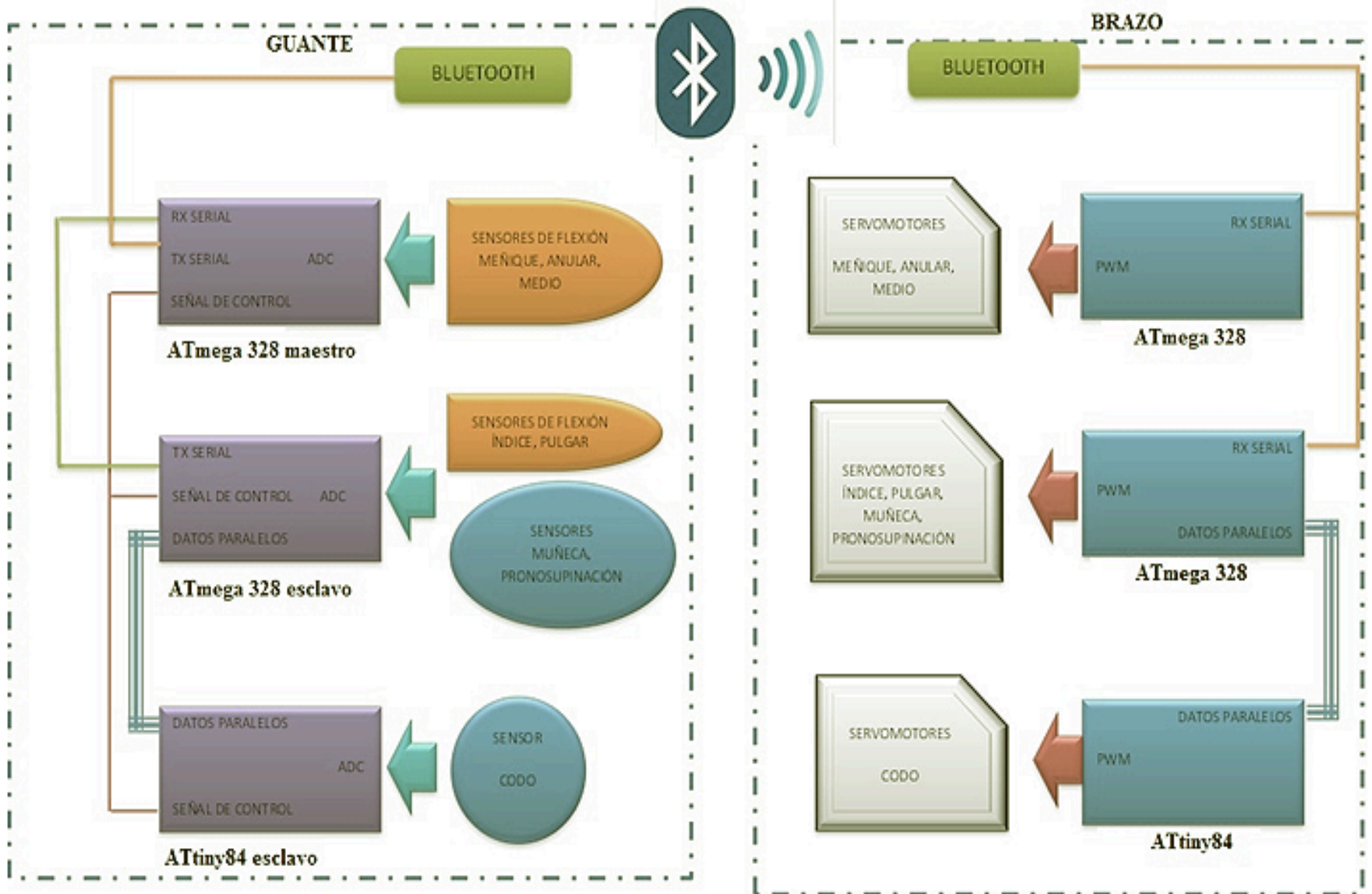


Figura 8. Diagrama de bloques para el guante y el brazo. Fuente: elaboración propia

Se eligieron los microcontroladores ATmega328 y ATtiny84 con el fin de poder contar con los módulos ADC y PWM necesarios para la digitalización de las señales provenientes de los sensores y realizar el control de los servomotores. Uno de los ATmega328 es configurado como maestro del sistema, de tal manera que los otros solo leen los datos de los sensores cuando este les notifica, y esto es fundamental debido que al tener sensores en diferentes microcontroladores su lectura debe ser simultánea. En la Tabla 1 se puede observar el paquete de datos enviado por el guante.

Tabla1. Paquete enviado por El Guante.

Bytes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Datos	Bits de inicio	Meñique	Anular	Medio	Índice	Pulgar	Muñeca	Pronosupinación	Codo						Bits de fin.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 9 se muestra el diagrama de flujo del microcontrolador maestro ubicado en el guante. La lógica de programación de los microcontroladores esclavos es similar a la del maestro, pero estos no envían pulso de control sino que lo esperan y lo contabilizan para saber si deben guardar parámetros de referencia, tampoco tienen que ver con la secuencia de inicio pues esos valores los tiene almacenado el maestro. Para llevar toda esta lógica a la realidad, los microcontroladores fueron programados utilizando lenguaje C en el software AVR Studio 5.

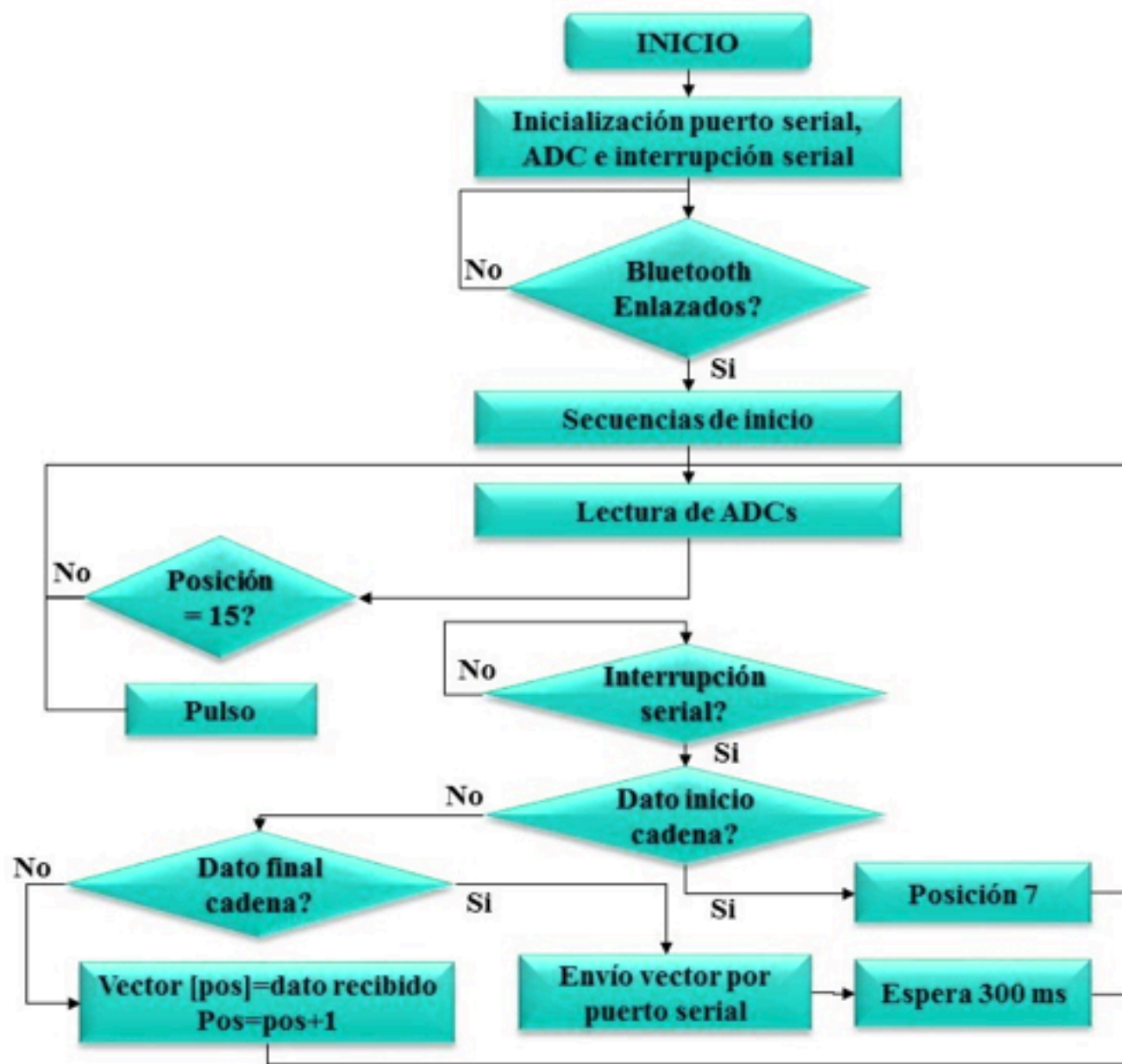


Figura 9. Diagrama de flujo del ATmega328 maestro. Fuente: elaboración propia

3. Discusión de Resultados

Como resultado final del presente trabajo se obtuvo un brazo robótico funcional con 18 grados de libertad que puede ser operado a través de un guante electrónico de forma remota. Ver Figura 10.

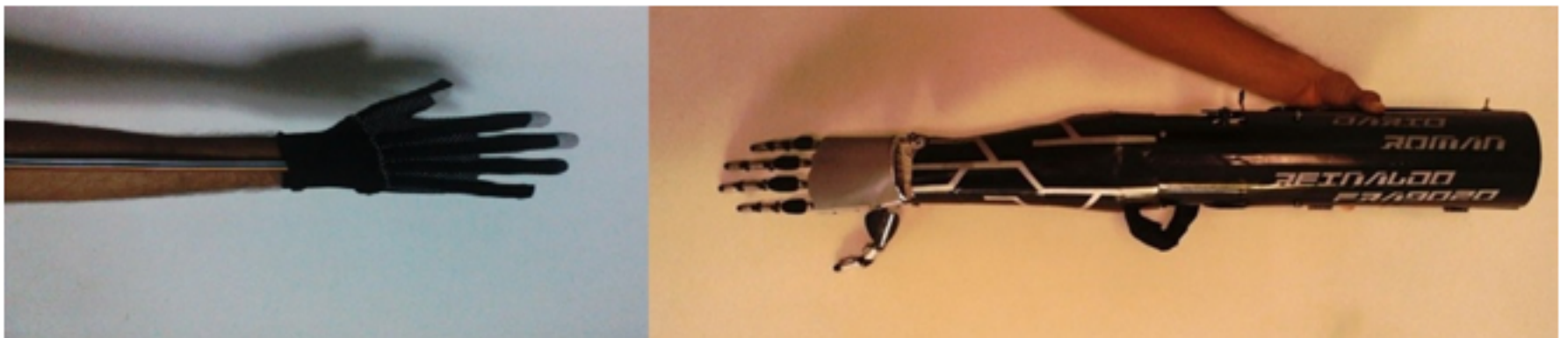


Figura 10. Guante electrónico y brazo robótico finales. Fuente: elaboración propia

Los dedos fueron diseñados para que pudieran ser flexionados y extendidos, ignorando el movimiento que los aleja o acerca entre ellos (abducción y aducción). Cada dedo se diseñó con 3 grados de libertad, uno por falange. El pulgar humano consta de una falange menos con respecto a los otros dedos, resultándole en un grado de libertad menos para el prototipo. Sin embargo, su movimiento de rotación característica añade dos grados de libertad adicionales de los cuales solo se tuvo en cuenta uno, el que permite al pulgar flexionarse sobre la palma de la

mano. Además, se logró emular correctamente los movimientos de la muñeca y el codo.

Todos los materiales que se emplearon para el soporte y la forma antropomórfica del prototipo fueron de fácil acceso. Un aspecto a resaltar de este proyecto es que se utilizaron materiales reciclados, como el PVC que fue calentado y moldeado para darle soporte a la cubierta exterior, las latas que corresponden a dicha cubierta, las varillas de aluminio que se cortaron y complementaron con pequeños tubos plásticos para formar las falanges, la pequeña y flexible malla metálica que se moldeó como mano para soportar las falanges, las guías de los tendones artificiales y los pequeños soportes de plástico entre las falanges que hacen de articulaciones.

El soporte de los actuadores se construyó en acrílico, así como las guías de los tendones. Este material fue de suma importancia toda vez que pudo ser fácilmente cortado y manipulado de acuerdo a las necesidades del proyecto. Uno de los principales problemas se presentó con la selección del calibre y la tensión del hilo de nailon utilizado para los tendones artificiales, puesto que fue necesario probar diferentes alternativas hasta que finalmente se lograron obtener los resultados esperados. Se realizaron pruebas preliminares con otra clase de hilos como el de rayón o de seda, pero se presentaron problemas fricción contra las guías y terminaban por quebrarse después de ser utilizados repetidamente.

En la programación final se incluyó también un elemento que no estaba contemplado inicialmente, se refiere la posibilidad de que el guante se adapte al usuario mediante la toma de datos de referencia en el proceso de inicialización. Esto es importante puesto que los sensores están fijados sobre un guante de tela de tamaño estándar, por consiguiente la posición de los sensores de flexión en cada articulación no será exactamente la misma para usuarios diferentes. Esta discrepancia, aunque muchas veces es muy poca, ocasiona que el rango usado de los sensores difiera entre individuos.

Finalmente es de resaltar que el prototipo desarrollado guarda similitudes con diferentes proyectos encontrados en la literatura, diferenciándose principalmente en el sistema de accionamiento de las articulaciones de los dedos. La mayoría de desarrollos ubican los actuadores en la mano o en la propia articulación, pero en este caso todos los dedos cuentan con tres grados de libertad; el pulgar aunque cuenta con los mismos grados de libertad de los otros dedos, posee movimiento en dos planos diferentes tratando de igualar la funcionalidad de nuestro pulgar oponible. Las falanges distales se mueven conforme se mueven las falanges medias, tal como ocurren con las manos.

4. Conclusiones

Después de todo el proceso de construcción descrito, el resultado final es bastante fiel a la visión inicial del proyecto: un brazo robótico capaz de emular los movimientos realizados por un usuario gracias a un guante electrónico dotado con sensores, actuadores y conectividad inalámbrica. Para el brazo robótico el punto de partida para los diseños implementados fue la necesidad de realizarlo completamente antropomórfico y funcional. Para el caso del guante, el punto de partida se estableció al seleccionar los sensores de flexión, los cuales determinaron el diseño final de los subsistemas que permiten medir los movimientos de la mano.

La elección de los materiales para el sistema siempre estuvo limitada a lo consecución de los materiales en el ámbito local, limitando el proceso creativo asociado a la fabricación de los elementos mecánicos. Sin embargo el resultado final confirma que se logró cumplir con los objetivos inicialmente establecidos.

Con la utilización de los microcontroladores Atmel se implementó un sistema de control a lazo abierto que permitió ejecutar de forma coordinada las tareas de digitalización de las señales provenientes de los sensores, control de los servomotores con señales PWM y conectividad inalámbrica con los módulos bluetooth. Adicionalmente, todas las tarjetas electrónicas fueron cuidadosamente diseñadas para acoplarlas al espacio disponible en el guante y el brazo.

Finalmente, es pertinente mencionar que el dispositivo realizado no se presenta como un reemplazo total de una extremidad humana, lo que se busca es introducir el desarrollo de este

tipo de herramientas robóticas en los campos de la academia y la industria regional. Además, con este proyecto de busca incrementar el conocimiento en esta línea del saber, su beneficio es aportar diferentes alternativas de solución para problemas específicos que involucran la integración de áreas de electrónica y mecánica.

Referencias

- ARBEILLE, P., Provost, R., Zuj, K., Dimouro, D., & Georgescu, M. (2014). Teles-operated Echocardiography Using a Robotic Arm and an Internet Connection. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 40(10), 2521-2529.
- CHOPADE, S., Kauthalkar, S., & Bhandari, C. (2013). Robotics in Medicine Applications. *Int. Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 3(5), 247-251.
- DOSHI, M., Parekh, S., & Bhowmick, M. (2015). Wireless Robotic Hand Using Flex Sensors. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(3), 1471-1474.
- JOBBÁGY, B., Šimšík, D., KarchÉák, J., & Onofrejová, D. (2014). Robotic arm with artificial muscles in rehabilitation. *Procedia Engineering*, 96, 195-202.
- MAKHTAR, A., Yussof, H., Al-Assadi, H., Yee, L. C., Kadir, W., Samin, R., & Ibrahim, B. (2012). Internet Controlled Robotic Arm. *Procedia Engineering*, 41, 1065-1071.
- POLYGERINOS, P., Wang, Z., Galloway, K., Wood, R., & Walsh, C. (2015). Soft robotic glove for combined assistance and at-home rehabilitation. *Robotics and Autonomous Systems*, 73, 135-143.
- RAHMAN, A., Khan, A., Ahmed, T., & Sajjad, M. (2013). Design, Analysis and Implementation of a Robotic Arm- The Animator. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 02(10), 298-307.
- SHARMA, A., & Noel, M. (2012). Design of a low-cost five-finger anthropomorphic robotic arm with nine degrees of freedom. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 28(4), 551-558.
- SYED, A., Agasbal, Z., Melligeri, T., & Gudur, B. (2012). Flex Sensor Based Robotic Arm Controller Using Micro Controller. *Journal of Software Engineering and Applications*, 5(5), 1-3.
- VERMA, S. (2013). Hand Gestures Remote Controlled Robotic Arm. *Advance in Electronic and Electric Engineering*, 3(5), 601-606.

1. Msc. En Ingeniería de Control. Profesor Tiempo Completo. Programa de Ingeniería Electrónica. Universidad del Magdalena. Email: croblesa@unimagdalena.edu.co

2. Ingeniero Electrónico de la Universidad del Magdalena. Email: dajoro.dro@gmail.com

3. Msc. In Electrical Engineering. Profesor Ocasional. Programa de Ingeniería Electrónica. Universidad del Magdalena. Email: apolol@unimagdalena.edu.co

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015
Vol. 38 (Nº 03) Año 2017

[Índice]

[En caso de encontrar algún error en este website favor enviar email a webmaster]