

Diseño de un Robot Neumático de 6 Grados de Libertad

González Castillo Edgar Eduardo¹, Ramos Arreguín Juan Manuel², Talavera Velázquez Dimas²

¹Universidad Tecnológica de San Juan del Río,
²Universidad Autónoma de Querétaro.

Resumen

El problema principal en los actuadores eléctricos es, cuando tienen que soportar más peso del que pueden cargar, generando una subida de la corriente eléctrica, provocando que los motores se dañen. En este trabajo se presenta el diseño de un robot neumático con 6 grados de libertad, con el fin de tener una mayor relación ganancia-peso en comparación de los motores eléctricos. Al diseñar un robot con actuadores neumáticos y poder implementar un sistema de control se estaría avanzando en el estudio de esta área, ya que es bien sabido que los sistemas neumáticos son difíciles de controlar. Se presentan imágenes del diseño del robot utilizando SolidWorks, de manera que se pueda simular su funcionalidad. En la implementación, el trabajo se ha dejado hasta los 3 grados de libertad, por causa de tiempo, y para evaluar el comportamiento parcial del robot hasta este punto. Se presenta el diseño de las tarjetas electrónicas de la etapa de potencia, así como del microcontrolador.

Palabras clave: Robots, neumática, diseño, actuadores, control, electrónica.

1. Introducción

En este trabajo se presenta el diseño de un robot neumático con 6 grados de libertad, donde se tiene la tarea de investigar diferentes arquitecturas de los robots y desarrollar la metodología correspondiente para poder llevar a cabo el proyecto. El robot neumático tendrá diversas tareas, tales como limpiar superficies de zonas donde al ser humano le es difícil llegar y manipular objetos de un lugar a otro.

Los movimientos de los robots se logran gracias a la unión de los actuadores con sus eslabones. Existen 3 tipos de actuadores y suelen ser destinados para distintas aplicaciones. A continuación, se hablará un poco acerca de ellos.

Los actuadores eléctricos poseen una gran desventaja, pueden llegar a dañarse cuando son sometidos a sobrecarga, esto se debe a, que la corriente aumenta cuando el actuador tiene que soportar sobrecarga.

Los actuadores hidráulicos son usados ampliamente en la industria y en otras aplicaciones, ya que logran soportar grandes cantidades de peso, sin embargo, en este proyecto no tendrían lugar, puesto que requieren de mucha limpieza y el robot que se diseñará no requerirá soportar tanta carga.

Los actuadores neumáticos al tener una sobrecarga simplemente no se mueven, esto los protege de dañarse, ya que solo se está utilizando aire.

Considerando la ventaja del actuador neumático sobre el eléctrico, se diseñará un robot neumático con 6 grados de libertad. Por tiempo solo se alcanzará a implementar físicamente hasta 3

grados de libertad. Se verificará el funcionamiento de las 3 articulaciones, por medio de una tarjeta que se diseñará en el transcurso del proyecto.

2. Antecedentes

El desarrollo de trabajos sobre actuadores neumáticos ha tenido una evolución importante, como se muestra a continuación.

En 2011, Emmanuel Guillen presenta la implementación en hardware de un algoritmo difuso para controlar la posición de un actuador neumático instalado en un brazo robótico de un grado de libertad. Utilizó un FPGA Spartan-3 para realizar las pruebas prácticas [8].

Juan Manuel Ramos en el año 2011, presenta un Controlador Difuso, cuyo modelo consiste en un conjunto de ecuaciones diferenciales no lineales, aplicado a un robot de un grado de libertad. Este proyecto permite controlar la no-linealidad del sistema neumático, y al utilizar una tarjeta FPGA permite desarrollar el control en un Sistema Embebido, lo cual posibilita que se tenga un control en tiempo real [11].

En el 2012, se presenta un robot neumático de precisión para la realización de neurocirugía [5].

Así mismo, en el 2013 se presenta el trabajo donde se desarrolla un actuador electro-neumático con músculos artificiales [13]. Es presentado un trabajo sobre el desarrollo de un nuevo brazo robótico que tiene como una parte básica, un actuador neumático [14].

También los robots neumáticos han sido utilizados, tanto en rehabilitación [7], [2], [6], como en robots industriales [1], [15], [3], [4].

Así mismo, se ha evolucionado al desarrollo de robots insectos [12], y el uso de técnicas de control para un actuador neumático [9].

3. Metodología

En la Figura 1 se muestra los pasos que se siguieron para el desarrollo del proyecto.

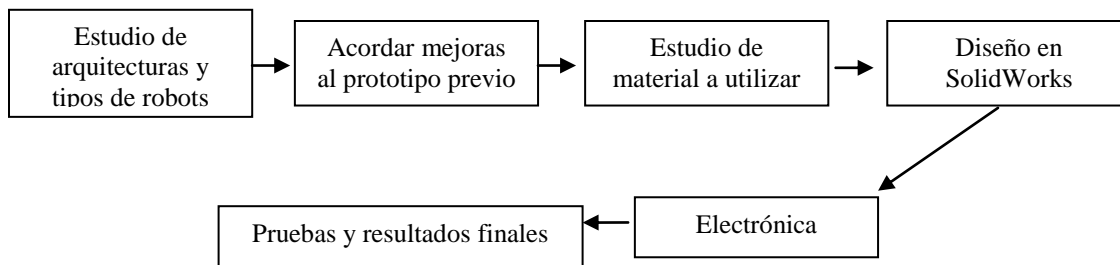


Figura 1. Metodología.

3.1 Estudio de arquitecturas y tipos de robots

Hoy en día existen distintos tipos de robots con diferentes arquitecturas. Cada robot tiene una finalidad distinta que los puede hacer únicos. A continuación, se mencionarán los tipos de robots más comunes:

- **Móviles:** pueden ser clasificados de acuerdo con el medio en el que se desplacen, por ejemplo: terrestres, marinos o aéreos.
- **Humanoides:** son conocidos de igual forma como androides, los cuales son máquinas con forma humana capaces de imitar movimientos de los seres humanos como: caminar, hablar, bailar, trasladar objetos y jugar deportes.
- **Industriales:** son conocidos de igual forma como brazos mecánicos y suelen definirse como manipuladores con distintos propósitos, reprogramables y que pueden ser controlados automáticamente en 3 o más ejes. Tienen gran importancia en el sector industrial y son una herramienta clave en la modernización en las empresas.
- **Domésticos:** tienen la finalidad de realizar tareas del hogar sirviendo como aspiradoras, lavarropas, modificando su comportamiento de forma autónoma dependiendo el medio en el que estén trabajando.
- **Médicos:** Son usados como apoyo durante la intervención médica sobre los seres humanos y como complemento para las personas con capacidades diferentes.

Todos estos sistemas involucran una inmensa cantidad de cosas en su interior. Por ejemplo, en las articulaciones puede haber actuadores capaces de permitir la conexión y movimiento entre 2 eslabones consecutivos del robot, generando movimientos lineales o rotacionales.

En cualquier arquitectura se pueden encontrar unidades de procesamiento, entrada y salida.

Los sensores proporcionan información del estado del robot y tienen una gran importancia en la arquitectura de estas máquinas.

3.2 Diseño de las modificaciones al prototipo

Este trabajo es la continuación del proyecto del robot neumático, ya se contaba con un primer prototipo, el cual estaba conformado por 2 actuadores neumáticos, un motor y un pistón. En la figura 2 se puede apreciar el motor neumático acoplado en la base, el cual hace girar al robot, mientras que el pistón sólo se utilizaba para levantar un eslabón.



Figura 2. Primer prototipo del robot neumático.

Se planeó modificar este primer prototipo con el fin de hacerlo con 6 articulaciones. Se acordó dejar la base con el motor neumático acoplado y no era necesario diseñar una nueva (figura N° 3). El pistón de igual manera se va a conservar para el segundo grado de libertad.

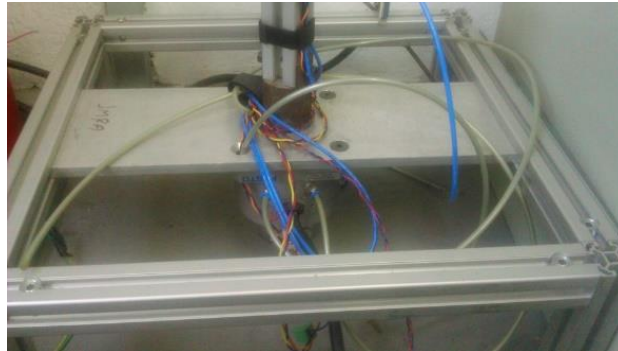


Figura 3. Base del robot.

En la figura N° 4 se puede apreciar más a detalle la forma del mecanismo y se nota que ciertas partes son hechas de madera. La madera debía ser sustituida por algún otro material. Se acordó que el mecanismo impulsor debía ser cambiado.



Figura 4. Mecanismo.

El mecanismo debía levantar un eslabón ofreciendo mayor libertad de movimiento con menos elementos. El nuevo diseño se basó en el siguiente modelo, el cual era sencillo de desarrollar, con muy pocos elementos mecánicos, ofreciendo libertad de movimiento (figura 5).

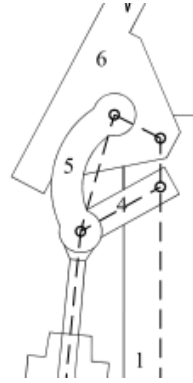


Figura 5. Mecánismo impulsor.

3.3 Estudio de material a utilizar

Para empezar con el diseño, previamente se requirió realizar una búsqueda de actuadores comerciales que se necesitaran, ya que en base al tamaño de éstos se harían los mecanismos de cada articulación.

Los actuadores neumáticos consultados son los siguientes:

- Motor neumático FESTO DSMI-40-270-A-B.
- Cilindro neumático SMC CM2YC32-150.
- Cilindro neumático SMC CD85N20-100C-B.
- Motor neumático SMC CRB2BW30-270SZ.
- Motor neumático SMC CRB2BW20-270SZ.
- Motor neumático SMC CRB2BW15-270SZ.

Los 2 primeros actuadores neumáticos mencionados son con los que ya cuenta el primer prototipo de robot neumático.

3.4 Diseño en SolidWorks

El software de diseño que se utilizó fue el SolidWorks, ya que es sencillo de usar y permite al usuario crear diferentes piezas en 3D a escala y hacer distintos ensamblajes, que permite observar el modelo a escala ya terminado.

El software se ha utilizado para diseñar las piezas del robot, y posteriormente, con el dibujo a detalle se tomaron las medidas para desarrollarlas físicamente.

En el primer grado de libertad no se realizó ningún cambio, ya que fue diseñado e implementado físicamente.

Para el segundo y tercer grado se usó el nuevo mecanismo impulsor, sólo se adecuaron las dimensiones para la tercera articulación. Para evitar que el eslabón acoplado a la segunda y tercera articulación (segundo eslabón) no chocase con el piso o la base, se alargó la columna principal del robot (primer eslabón) hasta 70 cm.

De igual manera, para garantizar la resistencia del robot se implementaron los 2 primeros eslabones con tubular cuadrado de acero.

Con estos datos se tienen nuestros 3 primeros grados de libertad (figura 6).



Figura 6. 1er, 2do y 3er articulación.

El mecanismo de las últimas 3 articulaciones debe ser el mismo, ya que los actuadores son motores neumáticos de diferente tamaño (se adecuaron las dimensiones para cada articulación). Para el diseño, sólo se hizo una pequeña base redonda, donde se pudiera atornillar el motor neumático dejando descubierta la flecha, con el fin de incorporar un cople con un tornillo opresor, el cual conecte al siguiente eslabón (figura N° 7).

En el eslabón para el 6to grado, aparte de tener el acoplamiento con el motor, se incorporará un gripper o sujetador neumático, para que manipule los objetos que se deseen sujetar (no se incluye en la simulación).

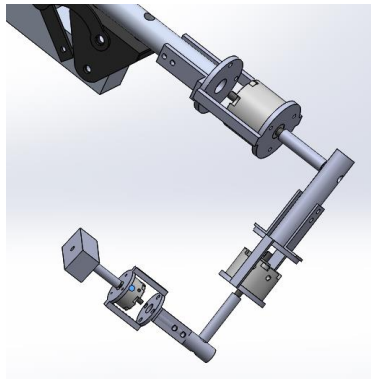


Figura 7. 4ta, 5ta y 6ta articulación.

En la figura N° 8 se puede apreciar el diseño completo del robot neumático de 6 grados de libertad en SolidWorks.

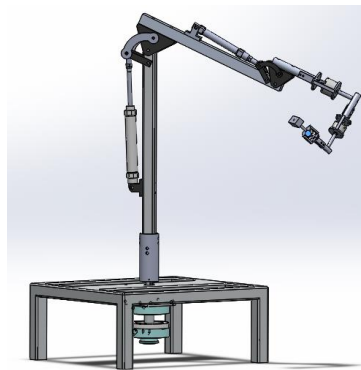


Figura 8. Diseño completo del robot (sin incluir gripper).

3.5 Electrónica

Para el desarrollo de las tarjetas PCB, previamente se deben tener en cuenta ciertas consideraciones:

- Para controlar los actuadores neumáticos se debe tener la disposición de electroválvulas SMC SY5320-6LZ-01, las cuales tienen 2 solenoides por ambos extremos, las cuales son ideales para trabajar con actuadores de doble efecto. Se requiere regular el caudal del aire para el accionamiento de los actuadores.
- Se acoplarán las reguladoras de caudal a unos motor-reductores, y éstos deben ser controlados por un microcontrolador. El motor requiere contar con un encoder para detectar la posición. El acoplamiento físico de los motores con las reguladoras de caudal se realizará posteriormente, por disponer de poco tiempo.
- Las electroválvulas deben ser alimentadas con 12 V, los motor-reductores de 6 V a 12 V y el circuito de control con 5 V. No se deben colocar tantas fuentes de alimentación en el circuito, así que se acordó regular el voltaje de 12 V a 5 V con el circuito integrado LM317 para el circuito de control. Los motores deben alimentarse con una fuente exclusiva, debido a la demanda de corriente en ellos.
- Por cada articulación se harán 2 tarjetas (12 en total). Una tarjeta se usará para el control con un microcontrolador ATMEGA328P y la otra tarjeta tendrá todas las etapas de potencia y conexiones externas como: motores, electroválvulas, sensores, etc. La tarjeta de potencia se diseñó para que pueda usarse con la tarjeta de control con microcontrolador y un FPGA.
- Las PCB fueron diseñadas lo más compactas posibles para disminuir espacio. Para la disminución de espacio se usarán resistencias y capacitores de montaje superficial.
- Las tarjetas serán de doble cara, es decir, que los componentes se coloquen tanto en la cara exterior como en la interior. Esto hará más compacta la tarjeta y facilitará la conexión de un componente con algún otro.

Al tener las consideraciones, se empezó con el diseño de las 2 tarjetas con ayuda de un software asistido por computadora llamado Altium Designer (figuras 9 y 10).

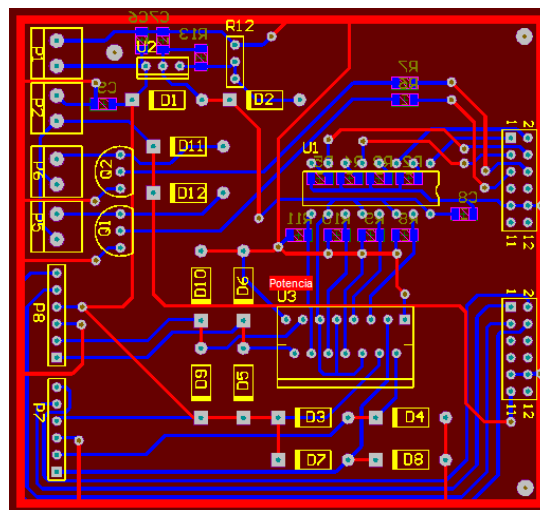


Figura 9. Diseño de PCB para potencia.

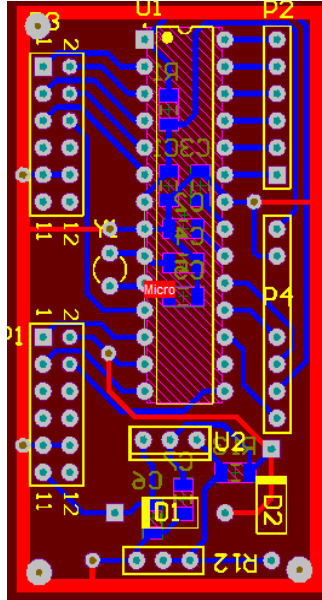


Figura 10. Diseño de PCB para microcontrolador.

4. Pruebas y resultados finales

Después de tener en la computadora todos los diseños de las piezas para el robot y el diseño de las 2 tarjetas PCB se implementará todo de forma física.

4.1 Desarrollo de las piezas metálicas para el robot

El material a utilizar fue acero para el segundo y tercer grado de libertad. El primer grado de libertad está hecho de aluminio. Para las articulaciones restantes se espera usar aluminio para disminuir el peso.

Para fabricar las piezas se requirió del uso de las herramientas: una esmeriladora, un centro de maquinado CNC y un torno convencional. En la esmeriladora se fabricaron las piezas más fáciles de construir y las que no requirieron de precisión en las medidas.

Las piezas más complicadas que requerían mayor precisión en las medidas fueron hechas en el centro de maquinado CNC (figuras 11 y 12).



Figura 11. Piezas siendo maquinadas en el centro de maquinado CNC.



Figura 12. Pieza redonda maquinada en el centro de maquinado CNC.

Se fabricó un cople de aluminio en el torno (figura 13). El cople se usa para la unión del tercer actuador neumático CD85N20-100C-B con la tercera articulación.



Figura 13. Pieza de aluminio siendo maquinada en el torno.

Al tener todas nuestras piezas físicas, se ensambló el robot, tal y como está en nuestro diseño de SolidWorks. Para el ensamble se usaron tornillos de distintas medidas, rondanas de distintos tamaños, remaches, y tuercas de seguridad.



Figura 13. Ensamble final.

4.2 Desarrollo físico de las tarjetas PCB

Para la implementación física de los diseños hechos en Altium Designer, sólo se enviaron los archivos para que pudieran ser maquiladas en una máquina que fabricó las pistas y las perforaciones como se puede ver en las figuras 14 y 15.

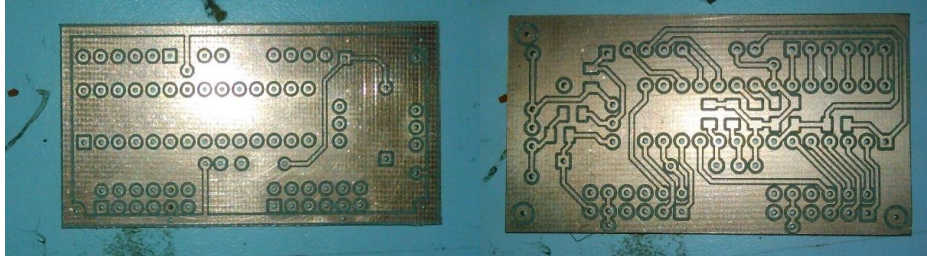


Figura 14. Tarjeta PCB para microcontrolador (cara externa y cara interna).

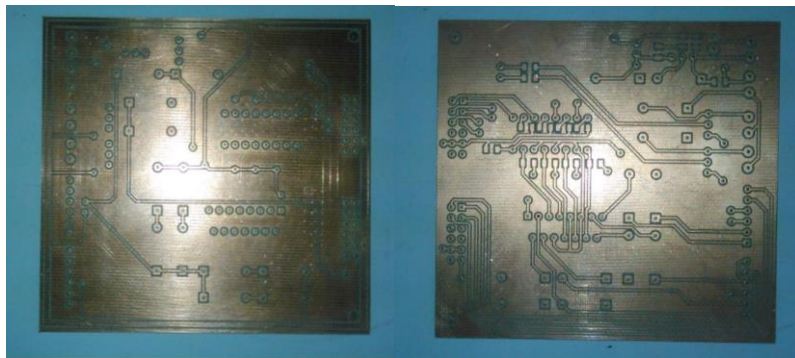


Figura 15. Tarjeta PCB para potencia (cara externa y cara interna).

Después de tener las tarjetas perforadas, se soldaron los componentes electrónicos a sus respectivas tarjetas empezando por las resistencias y capacitores de montaje superficial (figura 14).

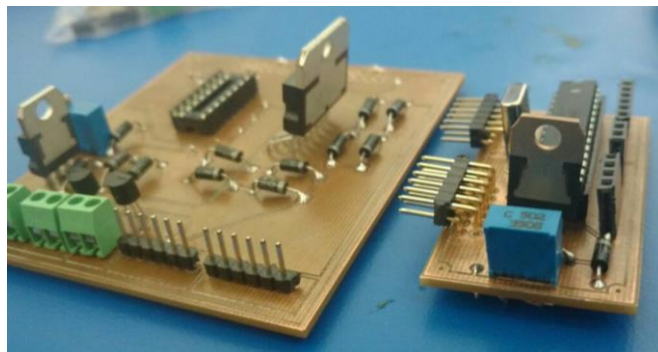


Figura 14. Tarjetas PCB finalizadas.

Para evaluar si el circuito funcionaba correctamente se verificó, al conectar el circuito a la energía eléctrica, para que los voltajes regulados permanecieran estables y después se probó que los motores y las electroválvulas funcionaran con la tarjeta de potencia.

5. Conclusiones

A pesar de que se planeó la implementación física de todos los grados de libertad, por causa del tiempo, se complicó el terminar lo planeado. Uno de los requerimientos de la construcción de este robot fue el construirlo poco a poco, ya que la creación del mismo no es un proceso fácil y era necesario seguir una metodología. Con ayuda de la metodología seguida desde un principio, se logró hacer lo que se planeó (robót con tres grados de libertad) de una forma gratificante, pues ya se cuenta con todo el diseño del robot y los diseños electrónicos necesarios para, posteriormente, implementar físicamente los últimos 3 grados de libertad y continuar con el control automático del robot.

En el futuro se podrá continuar con el proyecto y espero que lo aportado hasta el momento sea de gran ayuda para seguir desarrollando este interesante robot neumático. Espero que, de ser necesario, se le puedan dar mejoras al diseño, logrando un mejor aspecto y una mejor libertad en el movimiento de las articulaciones.

Referencias

- [1] ALIFF, M., DOHTA, S., & AKAGI, T. (2014). Control and analysis of robot arm using flexible pneumatic cylinder. *Mechanical Engineering Journal*, 1(5), DR0051-DR0051.
- [2] Badesa, F. J., Llinares, A., Morales, R., Garcia-Aracil, N., Sabater, J. M., & Perez-Vidal, C. (2014). Pneumatic planar rehabilitation robot for post-stroke patients. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, 26(02), 1450025.
- [3] Blanes, C., Ortiz, C., Mellado, M., & Beltrán, P. (2015). Assessment of eggplant firmness with accelerometers on a pneumatic robot gripper. *Computers and Electronics in Agriculture*, 113, 44-50.
- [4] Chen, Y., Kwok, K. W., & Tse, Z. T. H. (2014). An MR-conditional high-torque pneumatic stepper motor for MRI-guided and robot-assisted intervention. *Annals of biomedical engineering*, 42(9), 1823-1833.
- [5] Comber, D. B., Cardona, D., Webster III, R. J., & Barth, E. J. (2012). Precision pneumatic robot for MRI-guided neurosurgery. *ASME J. Med. Dev*, 6(1), 017587.
- [6] Díez, J. A., Badesa, F. J., Lledó, L. D., Sabater, J. M., García-Aracil, N., Beltrán, I., & Bernabeu, Á. (2016). Design and Development of a Pneumatic Robot for Neurorehabilitation Therapies. In *Robot 2015: Second Iberian Robotics Conference* (pp. 315-326). Springer International Publishing.
- [7] Dzahir, M. A. M., & Yamamoto, S. I. (2014). Recent trends in lower-limb robotic rehabilitation orthosis: Control scheme and strategy for pneumatic muscle actuated gait trainers. *Robotics*, 3(2), 120-148.
- [8] Guillén, G. E., (2011), Implementación de un sistema de lógica difusa en FPGA para un robot neumático de un grado de libertad. Tesis de Licenciatura, Querétaro, Qro. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Informática.
- [9] Juan-Manuel, R. A., Saul, T. A., Jose-Emilio, V. S., & Marco-Antonio, A. F. (2016). FPGA EMBEDDED PD CONTROL OF A 1 DOF MANIPULATOR WITH A PNEUMATIC ACTUATOR. *International Journal of Robotics and Automation*, 31(3).
- [10] Méndez, L. C. M., (2012). Diseño de un sistema de monitoreo de variables críticas de un aerogenerador de uso doméstico. Tesis de maestría, Querétaro, Qro. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería.
- [11] Ramos, J. M., Gorrostieta, E., Pedraza, J. C., Aceves, M. A., Vargas, J. E. (2011). Fuzzy Logic applied to Control a One Degree of Freedom (DOF) Pneumatic Robot. Facultad de Informática. Universidad Autónoma de Querétaro.
- [12] Shevchenko, Y., Whitesides, G. M., Stokes, A., & Compton, G. (2016). U.S. Patent No. 20,160,003,268. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [13] Tóthova, M., Pitel, J., & Mizakova, J. (2013). Electro-pneumatic robot actuator with artificial muscles and state feedback. *Applied Mechanics and Materials*, 460, 23.

- [14] Vojtko, I., Kočiško, M., Janák, M., & Fečová, V. (2013, January). The new design of robot arm. In Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII), 2013 IEEE 11th International Symposium on (pp. 53-56). IEEE.
- [15] Wait, K. W., & Goldfarb, M. (2014). A pneumatically actuated quadrupedal walking robot. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 19(1), 339-347.