

Sistema de Tele-presencia Adaptable a Robots de Pinza para Inspección

Gilberto Galvis Giraldo
Universidad de Caldas
gigalgi@hotmail.com

Mateo Villegas Estrada
Universidad de Caldas
mateovi95@gmail.com

Abstract— *the world of robotics is becoming wider day, we can see how from decades ago robots provide aid and reduce risks to humans, based on mixed reality and the anatomy of the human hand a robotic hand that simulates create a lot of human movements. Also the system fully complies with the goals establecidad presenting a smooth functioning of artificial vision systems and mechanical design of the hand.*

Index Terms— *PID, Opencv, control system, real time, vision system, mixed reality, HSV filter.*

I. INTRODUCCIÓN

EL uso de la robótica en situaciones de operaciones precisas y manipulación de objetos a distancia, es cada vez más frecuente, y nos permite disminuir la intervención humana directa para evitar accidentes. De otro lado, vemos como el internet nos es cada vez más útil en el logro de la integración, visualización y manipulación remota de objetos, archivos e imágenes, con lo que se mejora también en el caso de la robótica, el control y el análisis de las operaciones.

Considerando que en la actualidad los robots de inspección y manipulación de objetos en actividades remotas, tienen como manipulador principal una pinza con movilidad limitada, se ha desarrollado un proyecto que busca remplazar esta pinza por una mano con movimientos complejos similares a los obtenidos por la mano humana.

El proyecto consta de un sistema de realidad mixta [25], el cual genera mayor inmersión del operador, permitiéndole más comodidad al momento de manipular objetos y sentir profundidad por medio de esta; su principal innovación es la mano capaz de manipular una mayor cantidad de objetos y de realizar movimientos más complejos [30] que la pinza. La mano consta de movimiento independiente en cada uno de los cinco dedos, puede realizar diferentes movimientos como:

Pronación, supinación, flexión, extensión, aducción y abducción de la muñeca; mientras que con los dedos puede realizar flexión, extensión, oposición del pulgar y reposición del mismo [28].

II. PROBLEMÁTICA

Los explosivos, la radioactividad, los gases tóxicos, las altas temperaturas, los riesgos eléctricos, entre otros, generan problemas de seguridad para las personas, y su solución representa un área de investigación amplia y un reto en diferentes áreas de las ciencias exactas e ingenierías en la búsqueda de como operar estos elementos de manera más segura, más eficiente y más rápida sin necesidad de la intervención humana.

Podemos observar como el mando a distancia de los robots similares a este tienen una baja eficiencia y un alto costo. Aunque los procesos se han estandarizado y mejorado a lo largo de los años, no ha habido un cambio sustancial desde la segunda guerra mundial, siendo bastante notorio el modo en el que el usuario controla los robots desde hace décadas con mandos y botonería algo poco práctico que genera confusión.

Por otra parte, es en la inspección en campo, donde los robots más se han adaptado, permitiendo una detección temprana y ayuda en algunos tipos de manipulaciones, pero sin ser totalmente autónomos aún en todas las tareas, ya que dejan brechas que deben ser solucionadas por equipo humano.

Se evidencia pues la necesidad de mayor movilidad mecánica de los actuadores, derivada de las limitaciones que tienen las pinzas actuales. Conociendo esto, se presenta una solución que puede ser aplicada a sistemas ya existentes, mejorando dos aspectos esenciales: el control del elemento de sujeción y la visualización del entorno.

III. CONTROL



Fig. 1. Proceso general.

El funcionamiento de la propuesta planteada es llevar a cabo el funcionamiento como una unidad en conjunto logrando de esta forma que la persona que manipule esté a gusto y logre una

mejor experiencia y pueda lograr mejores resultados; funciona en dos planos inicialmente, primero se procesan los datos de los movimientos gestuales posteriormente, se procesa el movimiento de realidad mixta para lograr reconocer las manipulaciones realizadas.

A. Sistema de visión artificial

Se realiza la captura y sensado de la mano humana por medio de una cámara de media resolución; se aplica un filtro HSV y un umbral para capturar la mano de una manera precisa; estos datos son exportados para posteriormente realizar un control de los dedos a accionar y la cantidad de presión que se debe ejercer en cada uno de ellos.

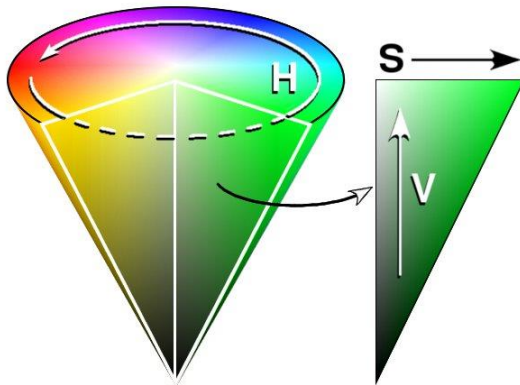


Fig. 2. Modelo de colores HSV.

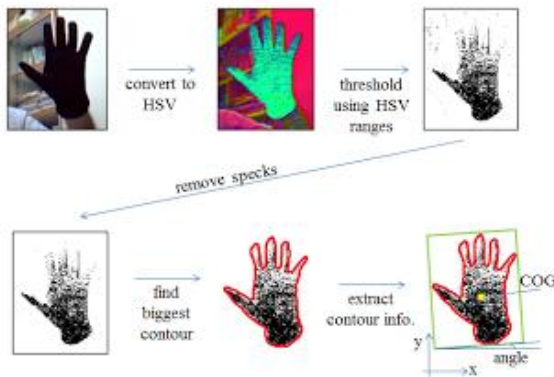


Fig. 3. Captura de datos. [46]

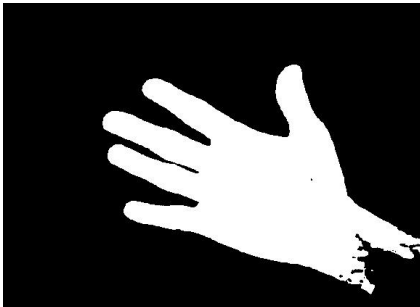


Fig. 4. Vista del sistema de visión.

B. Sistema de control

El método de control del sistema consta de tres pasos:

- Captura de datos.
- Procesamiento de datos.
- Control de la planta.

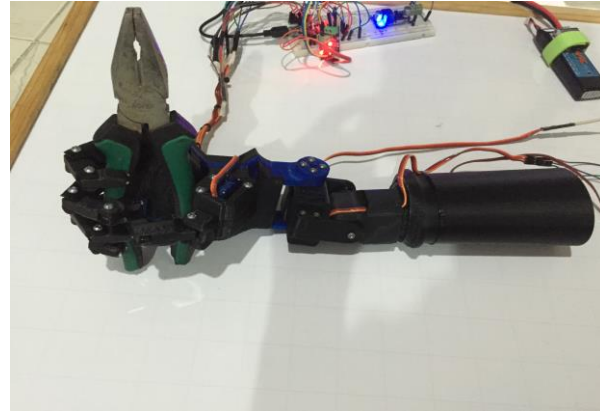


Fig. 5. Sistema de control mano y muñeca

Se realiza un control PID discreto de aproximación rectangular; para solo calcular el incremento de la variable de control, utilizando como variable del proceso la corriente que consumen los motores, se realiza la realimentación de corriente para lograr el agarre mediante el uso de sistemas embebidos se calcula los parámetros variables en el PID, al obtener los datos provistos por el sistema de visión, ajustando los dedos en la posición correcta, generando ahorro de energía y de potencia; además produce menor desgaste en los motores y menor calentamiento de los mismos.[1]

C. Cámara

TABLA I
LOGITECH C270

USB 2.0 High Speed	CMOS sensor	
1280*720 HDR	UP to 30 fps	
16:9 Screen Output	DC 5V/500mA	

D. Realidad mixta



Fig. 6. Visor de realidad virtual.[47]

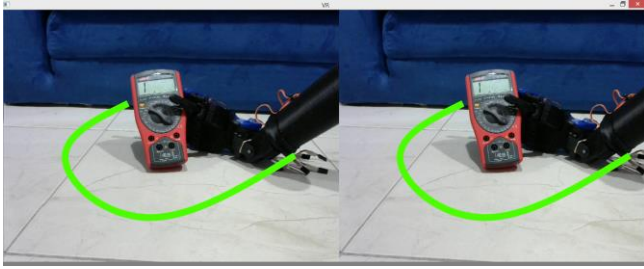


Fig. 7. Perspectiva de la realidad mixta.

Realidad mixta, MR (Mixed Reality) o realidad híbrida es la unión entre el mundo real y el mundo virtual en tiempo real; esta realidad permite tener un espacio de interacción virtual con objetos del mundo real, además de la interacción con personas. La realidad mixta permite además de captar la profundidad, realizar la integración del movimiento de la cámara que se le adapta al robot con los movimientos del operario.

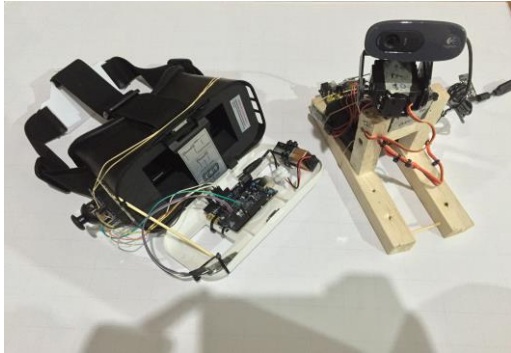


Fig. 8. Sistema realidad mixta



Fig. 9. Vista de la realidad mixta.[48]

E. Sistema de inspección remota video streaming

Se implementó un sistema de inspección remota por medio de video en streaming para la monitorización en tiempo real del entorno en el que se encuentra trabajando el sistema para brindar un mayor soporte al operador en situaciones en las que se requiera de personal altamente calificado y este se encuentre en otro lugar del mundo.



Fig. 10. Sistema inspección remota video streaming

F. Control de la muñeca

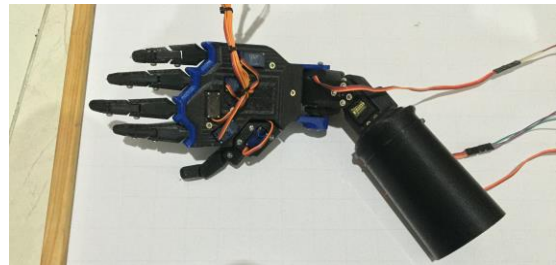


Fig. 11. Sistema control de muñeca

El control de la muñeca es realizado por un acelerómetro que se acopla a la mano humana para replicar el movimiento en la mano robótica, la que nos permite los movimientos de: Pronación, supinación, flexión, extensión, aducción y abducción, sin limitantes en cuanto a la movilidad en la misma.

Es de conocimiento del lector los efectos de aceleración explicados por la ley de la gravedad este es el principio del acelerómetro calculando el cambio del ángulo con las siguientes formulas, dado que el eje z es colineal a la fuerza de la gravedad es imposible determinar el cambio con el dispositivo utilizado.[49]

$$\theta_y = \text{atan} \frac{x}{\sqrt{y^2 + z^2}}, \theta_x = \text{atan} \frac{y}{\sqrt{x^2 + z^2}}$$

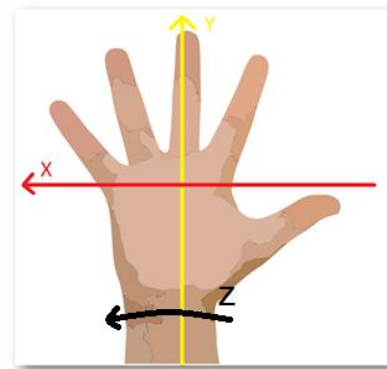


Fig. 12. Ejes acelerómetro.



Fig. 13. Acelerómetro adaptado.

G. Construcción de la mano

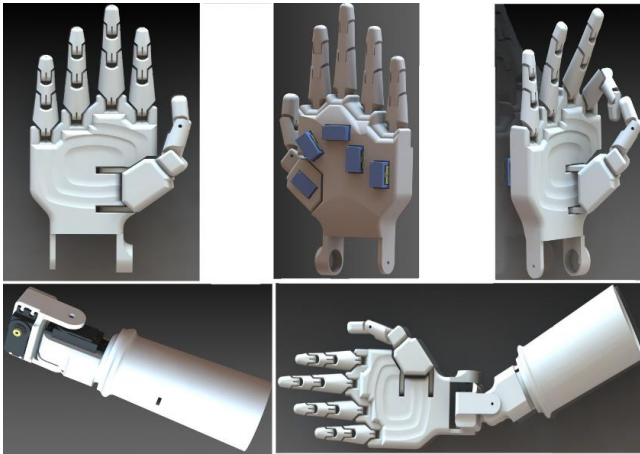


Fig. 13. Diseño final mano y muñeca

El diseño y control de esta mano robótica se basó en un trabajo previo que contemplaba las características mecánicas y morfológicas de la mano y la muñeca del ser humano. Se busca imitar características de apariencia y funcionalidad perfeccionada durante miles de años de evolución.

Para el diseño de esta se usó un software de diseño asistido por computadora (CAD), el cual permite realizar pruebas de resistencia y esfuerzo, al igual que realizar múltiples modificaciones sin necesidad de fabricar prototipos. En el diseño se consideraron tanto el aspecto físico como el funcionamiento mecánico, plasmando un esqueleto que forma la estructura base. Esta estructura integra el tejido y los huesos ubicados en el interior de la mano, además de fusionar los múltiples huesos que componen la muñeca. Se conservan las falanges proximal, media y distal como elementos independientes, unidas en la mano humana a través de articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas. Las articulaciones metacarpofalángicas son articulaciones condíleas que permiten: flexión, extensión, abducción, aducción, circunducción y una rotación limitada [45]. Las articulaciones interfalángicas de la mano son de tipo bisagra y permiten principalmente los movimientos de flexión y de extensión. Después del análisis anatómico de la mano humana

que se realizó se procedió a diseñar un prototipo teniendo en cuenta todos los parámetros de movimiento excepto separación de los dedos.[38][43]

IV. RESULTADOS

La respuesta obtenida por el sistema superó las expectativas, al lograr un muy buen comportamiento en movilidad y agarre con alta sujeción, al realizar pruebas de sujeción sometido a vibración de diferentes figuras geométricas se comprueba la capacidad de agarre de la misma; por otro lado, la inmersión en el mundo virtual genera una amplia visión del mundo real sin estar en el mismo. El sistema de visión genera una respuesta de alta precisión a los movimientos en la mano del operario.

Es de gran importancia generar mejor control y mayor facilidad en los diferentes entornos de aplicación del proyecto. Pero su integración con sistemas existentes permite un ahorro tanto económico como de tiempo de producción y pruebas.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El control realizado en la muñeca fue el adecuado, haciéndola totalmente funcional, superando los movimientos de la muñeca humana en algunos de los casos; además el sistema de visión funciona con gran precisión aunque se deben realizar algunas mejoras como se puede ver en la [figura 7].

Aparte de esto, se puede pensar en diferentes métodos de control más precisos [figura 14], pero la versatilidad del sistema de visión es bastante importante y no debe dejarse de lado, el control de visión es eficaz permitiendo realizar visión total del entorno y su fácil sistema de acoplamiento reduce el tiempo de operación.

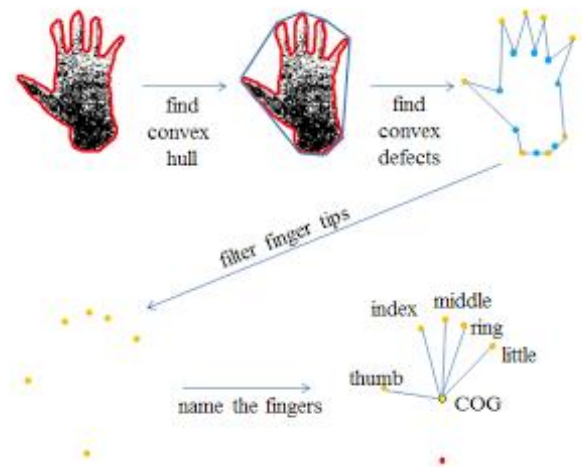


Fig. 14. Mejora sistema de visión.[46]

VI. CONCLUSIONES

Se plantea una solución de bajo costo, factible al momento de implementación, que además puede ser reparado incluso de manera rápida de ser necesario; el correcto funcionamiento del sistema de visión requiere de una serie de factores de

iluminación y fondo estático, lo cual es un factor a corregir; por lo demás es un sistema viable y de buen funcionamiento.

REFERENCIAS

- [1] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 5th Edition, Prentice Hall, 2009.
- [2] Caio Felipe Favaretto, Henrique Corrêa Ramiro, Rômulo de Oliveira Souza e Marcelo Barboza Silva. *Controle de um sistema Bola-Barra com realimentação através de imagen* 2013.
- [3] Hjelte Ulmehag, R., Hofwimmer, R., Klintberg, A., Skog Lidander, D., & Staberg, P. *Ball and beam*. 2012.
- [4] Obando Correa, O. A., & Romero Brand, H. *Desarrollo de un sistema ball and beam, para implementar estrategias de control mediante Labview*.
- [5] Gonzalez, R. & Woods, R. *Digital image processing*. Prentice Hall. 2008
- [6] W. Bolton, *Mechatronics: Electronic control systems in mechanical and electrical engineering*, 4th Edition, Prentice Hall, 2009.
- [7] Hauser, J., S. Sastry, and P. Kokotovic. "Nonlinear Control via Approximate Input-output Linearization: the Ball and Beam Example", *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 37, no. 3, IEEE, Piscataway, NJ, 1992, pp. 392-398.
- [8] Barranco, A. & Medel, J. Artificial vision and identification for intelligent orientation using a compass. *Revista Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquía*, Vol. 58, pp. 191-198 2011.
- [9] Handa, A., Newcombe, R. A., Angeli, A., & Davison, A. J. Real-time camera tracking: When is high framerate best? *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 7578, pp. 222-235. DOI: 10.1007/978-3-642-33786-4_17 2012.
- [10] X. Fan, N. Zhang and S. Teng, Trajectory planning and tracking of ball and plate system using hierarchical fuzzy control scheme, *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 14, no. 2, pp. 297-312, 2003.
- [11] Sossa, H. *Features for object recognition*. Instituto Politécnico Nacional. 2006.
- [12] Hartley, R. & Zisserman, A. *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge University press, pp. 152-208. 2003.
- [13] Tipsuwanpom, Runghimmawon, T. Runghim, T. Intajag, and S. Krongratana "Fuzzy logic PID controller based on FPGA for process control," *Industrial Electronics*, 2004 IEEE International Symposium, Vol. 2, No. 11, 2004, 1495- 1500
- [14] Basilio, J. C., Matos, S. R. Design of PI and PID controllers with transient performance specification. In: *Education*, IEEE transaction, Nov 2002, Volume 45, Issue 4, pp. 364-370 2002.
- [15] Korrapati R.; Anderson, J. A.; Swain, N. K.; Swain M; "System Modeling Using Virtual Instruments" *Southeast Con*, 2002. *Proceedings IEEE Digital Object Identifier: 10.1109/2002.995570 Publication Year: 2002*, Page(s): 121 – 126.
- [16] D'Souza, A., *Advanced Dynamics: Modeling and Analysis*, Prentice Hall (1984). Hamed, B., "Application of Labview for Real-time Control of Ball and Beam System", *IACSIT Journal of Engineering and Technology*, Vol. 2, No. 4 2010.
- [17] Keeling, Christopher J. *Modeling a Ball and Beam System Driven by an Electric Motor*. 2010.
- [18] K. C. Ng and M. M. Trivedi, Neural integrated fuzzy controller and real-time implementation of a ball balancing beam, *Proc. of the 1996 IEEE Conf. on Robotics and Automation*, Minneapolis, MN, U.S.A., pp. 1590-1595, 1996.
- [19] X. Doug and Z. Zhang, Applying genetic algorithm to on-line updated PID neural network controllers for ball and plate system, *The 4th International Conference on Innovative Computing, Information and Control*, Kaohsiung, Taiwan, pp. 751-755, 2009.
- [20] G. Wang and Z. S. Sun, Algorithmic research on PD direct fuzzy control based on ball and plate apparatus, *Electric Drive*, vol. 4, pp. 23-25, 2004.
- [21] P. Ponce, *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*, 1th edition, 2011.
- [22] M. Al-Rousan, K. Assaleh, A wavelet- and neural network-based voice system for a smart wheelchair control, *J. Frankl. Inst.-Eng. Appl. Math.* 348 (1) (2011) 90-100,
- [23] X. Shen, G. Hua, L. Williams, Y. Wu, Dynamic hand gesture recognition: An exemplar-based approach from motion divergence fields, *Image and Vision Computing* 30 (2012) 227-235.
- [24] D. Purwanto, R. Mardiyanto, K. Arai, Electric wheelchair control with gazedirection and eye blinking, in: *Proceedings of the 14th International Symposium on Artificial Life and Robotics*, AROB, Oita, Japan, February 5-7, 2009, pp. 400-436
- [25] J. Y. Long, Y. Li, H. Wang, T. Yu, J. Pan, F. Li, A hybrid brain computer interface to control the direction and speed of a simulated or real wheelchair, *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 20 (5) (2012) 720-729
- [26] R. Barea, L. Boquete, M. Mazo, E. Lopez, L. M. Bergasa, EOG guidance of a wheelchair using neural networks, in: *15th International Conference on Pattern Recognition, ICPR*, vol. 4, Barcelona, Spain, 2000, pp. 668-671,
- [27] A. Phinyomark, C. Limsakul, A review of control methods for electric power wheelchairs based on electromyography signals with special emphasis on pattern recognition, *IETE Tech. Rev.* 28 (4) (2011) 316-326.
- [28] Zecca M., Micera S., Carroza M., Dario P., "Control Of Multifunctional Prosthetic Hands By Processing The Electromyographic Signal", *Critical Reviews™ in Biomedical Engineering*. Vol. 30, pp. 459 485. 2002.

- [29] Garcia, D., Espinoza, M., J., «Avances en prótesis: una mirada al presente y al futuro,» *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 25, n° 2, pp. 281-285, 2014.
- [30] T. Bionics, «Touch Bionics,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.touchbionics.com/products/active-prostheses/ilimb-ultra>. [Último acceso: 21 07 2015].
- [31] B. Peerderman, «Myoelectric forearm prostheses: State of the art from a user-centered perspective,» *Journal of rehabilitation research and development*, vol. 48, n° 6, pp. 719-738, 2011.
- [32] Loera Perez., E., A., «Proyecto E-Nable Sobre El Desarrollo De Prótesis Mecánicas,» Universidad Autonoma de Nuevo Leon.
- [33] Richard L. Drake, A. Wayne Vogl, Adam W. Mitchell. *Anatomía para estudiantes*, Barcelona: Elsevier, 2010.
- [34] Schunke, Shulte, Shumacher, Voll, Wesker., *PROMETHEUS Texto y Atlas de Anatomía*, Panaerica, 2005.
- [35] John a. Kiernan, lippincott., W., wilkins., W., Kluwer., H., *El sistema nervioso humano: Una perspectiva anatómica*, Barcelona: Lippincott Williams and Wilkins. Wolters Kluwer Health, 2009.
- [36] Zecca M., Micera S., Carroza M., Dario P, «Control Of Multifunctional Prosthetic Hands By Processing The Electromyographic Signal,» *Critical Reviews™ in Biomedical Engineering*, vol. 30, pp. 459-485, 2002.
- [37] Ajiboye. A. B., Weir. R. F., «A heuristic fuzzy logic approach to EMG pattern recognition for multifunctional prosthesis control,» *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil.Eng.*, vol. 13, n°3, p. 280–291, 2005.
- [38] F.V.G. Tenore, A. Ramos, A. Fahmy, S. Acharya, R. etienne-Cummings, N.V. Thakor, «Decoding of individuated finger movements using surface electromyography,» *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 56, n° 5, p. 1427–1434, 2009.
- [39] L.J. Hargrove, G. Li, K. Englehart, B. Hudgins, «Principal components analysis preprocessing for improved classification accuracies in pattern-recognition-based myoelectric control,» *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 56, n° 5, p. 1407–1414, 2009.
- [40] Maria Hakonen, Harri Piitulainen, Arto Visala, «Current state of digital signal processing in myoelectric interfaces and related applications,» *Biomedical Signal Processing and Control*, pp. 334-359, 2015.
- [41] D.F. Stegeman, H.J. Hermens, «Standards for surface electromyography,» in: *The European Project Surface EMG for Non-Invasive Assessment of Muscles (SENIAM)*, 2007.
- [42] G. Li, Y. Li, L. Yu, Y. Geng, «Conditioning and sampling issues of EMG signals in motion recognition of multifunctional myoelectric prostheses,» *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 39, n° 6, p. 1779–1787, 2011.
- [43] A. Carrera, «Elasticidad y dureza de los huesos,» Universidad Tecnológica de Equinoccial, Escuela de Odontología, 2013.
- [44] Jaramillo Pineda, V. A., Pineda, J., & Garcia Arias, L.F., «Design of an automatic voice controlled system and remote control,» *IEEE Explora*, pp. 1-5, 2014.
- [45] Galvis Giraldo, G., Garcia Arias, L.F., & Jaramillo Pineda, V. A., «Diseño de una prótesis mioeléctrica de miembro superior de código abierto».
- [46] Davidson, Andrew. (2013). Killer game programming in java [web] recuperado de <http://fivedots.coe.psu.ac.th/~ad/jg/nui055/>
- [47] Matney, Lucas. (2016). Huawei unveils its own mobile VR headset [web] recuperado de: <https://techcrunch.com/2016/04/15/huawei-unveils-its-own-mobile-vr-headset/>
- [48] Broida, Rick. (2015). See the world in VR with Google Cardboard and Street View [web] recuperado de: <https://www.cnet.com/how-to/see-the-world-in-vr-with-google-cardboard-and-street-view/>
- [49] Tr4nsduc7or. (2014). Tutorial de Arduino y MPU-6050 [web] recuperado de: <http://robologs.net/2014/10/15/tutorial-de-arduino-y-mpu-6050/>