

Diseño de un sistema de percepción del impacto de choques mecánicos y golpes en el cerebro

Oscar M. Duque S,
oduques@sena.edu.co
Centro CEDRUM,
Regional N.D.S.,
Tecnoacademia
Cúcuta, Cúcuta,
Colombia,

Andres M Puentes V,
apuentesv@sena.edu.co,
Centro CEDRUM,
Regional N.D.S.,
Tecnoacademia
Cúcuta, Cúcuta,
Colombia,

David A Arredondo R,
david0910sena@gmail.com,
Centro CEDRUM,
Regional N.D.S.,
Tecnoacademia
Cúcuta, Cúcuta,
Colombia,

Elmer D Yaruro V
eduvanyaruro@gmail.com,
Centro CEDRUM,
Regional N.D.S.,
Tecnoacademia
Cúcuta, Cúcuta,
Colombia,

Resumen. El siguiente artículo busca dar a conocer el proyecto sobre el desarrollo de un sistema de percepción del impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro de bajo costo siguiendo una metodología STEM (Science Technology Engineering Mathematics). Para ello se realiza un estudio de antecedentes y de STEM de Microsoft Education en el desarrollo de sistemas de percepción del impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro, para así poder seleccionar los elementos de instrumentación, procesamiento, visualización y materiales necesarios para el proyecto. La siguiente etapa fue el diseño del sensor de impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro y una maqueta de casco en el que se distribuyan los sensores de percepción del impacto de choque mecánico en los diferentes lóbulos del cerebro. Para llevar a implementación se realizó el código en una tarjeta de desarrollo que registre los datos del sensor de percepción de impacto en cada lóbulo del cerebro y las pruebas experimentales para la caracterización de la señal. La última etapa fue, articular el sistema de sensado de impacto de todos los lóbulos con la interfaz de visualización en Excel de señales choques mecánicos de Microsoft Education. Para realizar la correcta medición en los impactos se caracterizaron los sensores desarrollados con cargas conocidas y se interpolaron las funciones que representan su funcionamiento.

Palabras Clave—STEM, impacto, cerebro, Velostat, interpolación, sensor.

Abstract—This article seeks to publicize the project on the development of a system of perception of the impact of mechanical shocks and blows on the brain of low cost following STEM methodology. For this, it began with a background and STEM study of Microsoft Education in the development of impact perception systems for mechanical shocks and strokes in the brain, to select the necessary instrumentation, processing, visualization and materials for the project. The next stage was the design of the impact sensor for mechanical shocks and strokes in the brain and a helmet model in which the sensors for the perception of the impact of mechanical shock are distributed in the different lobes of the brain. To carry out implementation, the code was carried out on a development card that records the data of the impact perception sensor in each lobe of the brain and the experimental tests for the characterization of the signal. The last stage was to articulate the impact sensing system of all the lobes with the visualization interface in Excel of mechanical shock signals from Microsoft Education. To perform the correct

impact measurement, the sensors developed with known loads were characterized and the functions representing their operation were interpolated.

Keywords—STEM, impact, brain, Velostat, interpolation, sensor.

I. INTRODUCCIÓN

La idea de poder analizar el impacto de los golpes y los choques mecánicos en el cerebro, ha sido de gran interés para la medicina. Desde la antigüedad, el hombre ha estudiado el cerebro y ha sido víctima del daño que se puede sufrir por un impacto craneal. Dado que los diferentes lóbulos del cerebro cumplen importantes y particulares funciones, las consecuencias de un impacto en el cráneo; varían de la zona donde recaiga el golpe.

La ingeniería y la medicina han unido fuerzas y experiencias en la búsqueda de dispositivos que permitan medir el impacto sufrido por un golpe en el cráneo. El presente proyecto se enfoca en el diseño de un sistema de percepción del impacto por golpes y choques mecánicos en las diferentes zonas del cerebro, mediante el establecimiento de un sistema de sensado en cada lóbulo, la recopilación de la señal de impacto y el escalamiento de la misma por medio de procesos experimentales con fuerzas conocidas para caracterizar el proceso de sensado [1] y así conocer el impacto sufrido y según la zona establecer el posible daño ocasionado.

II. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

A. Problema

Tecnoacademia Cúcuta, como escenario de aprendizaje dotado de tecnologías emergentes en la línea de Ingeniería-Robótica busca apropiar conocimientos a través del desarrollo de proyectos de investigación aplicada e innovación, teniendo como población objetivo a los estudiantes de los colegios

Dentro de las áreas de interés de Tecnoacademia Cúcuta esta la bioingeniería, los sistemas bio-inspirados y los sistemas biomédicos. Entre estos intereses, se encuentran el estudio de

la percepción del impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro.

El principal limitante de los desarrollos de los proyectos de investigación en Tecnoacademia Cúcuta es el costo asociado a los mismos, dado que se debe trabajar con los materiales de formación de los que se disponen y el 90% de los aprendices son de bajos recursos entre los estratos 1 y 2. Para los procesos formativos de Tecnoacademia Cúcuta bajo metodología STEM es importante el desarrollo de proyectos de ingeniería aplicada,[2] pero al alcance de los recursos de los que se disponen. Toda la población es vulnerable a sufrir impactos y golpes en el cráneo por muchas causas y la consecuencia del impacto varía de la zona del cerebro que se vea afectada [3].

¿Cómo se podría lograr la percepción del impacto de choques mecánicos y golpes del cerebro a bajo costo por los aprendices de Tecnoacademia Cúcuta para fines de medición en los diferentes lóbulos?

B. Justificación

Tecnoacademia Cúcuta, cuenta con un fuerte programa de formación en electrónica, robótica e investigación, esta última a través del semillero SEIINTAC y dentro de sus líneas de investigación está la biomecánica y bioingeniería.[4] El desarrollo de un sistema de percepción de choques mecánicos y golpes en el cerebro de bajo costo y bajo metodología STEM es necesario porque la obtención de un sistema de medición del impacto en los lóbulos del cerebro que sea fiable, suele ser un desarrollo de costo elevado; con este proyecto se podría obtener un producto de medición confiable y replicable a bajo costo si articulamos esfuerzos entre los recursos disponibles en los materiales de formación de Tecnoacademia Cúcuta, los conocimientos adquiridos y los lineamientos STEM de Microsoft Education.

El desarrollo del proyecto de percepción del impacto en las diferentes zonas del cerebro y de acuerdo al lóbulo afectado puede establecer el daño o consecuencia ocasionada, aportaría grandes beneficios y conocimientos. Dada la fortaleza matemática y de ingeniería con la que cuentan los aprendices, y siguiendo la metodología STEM se podrá perfilar y caracterizar la señal sensada con pruebas experimentales usando fuerzas conocidas; siempre en el marco del uso de software y hardware abierto y de elementos de bajo costo [5] y acotados a los materiales de formación y contenidos formativos de Tecnoacademia Cúcuta.

III OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

A. Objetivo General

- Desarrollar un sistema de percepción del impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro de bajo costo siguiendo metodología STEM.

B. Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de antecedentes y de STEM de Microsoft Education en el desarrollo de sistemas de percepción del impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro, para seleccionar los elementos

de instrumentación, procesamiento, visualización y materiales necesarios para el proyecto.

- Diseñar el sensor de impacto por choques mecánicos y golpes en el cerebro y una maqueta de casco en el que se distribuyan los sensores de percepción del impacto de choque mecánico en los diferentes lóbulos del cerebro.
- Realizar el código en una tarjeta de desarrollo que registre los datos del sensor de percepción de impacto en cada lóbulo del cerebro y las pruebas experimentales para la caracterización de la señal.
- Articular el sistema de sensado de impacto de todos los lóbulos con la interfaz de visualización en Excel de señales choques mecánicos de Microsoft Education

C. Metodología

Como metodología pedagógica se usó, la STEM que por política Tecnoacademia es la debemos usar basada en la ciencia, la tecnología, la ingeniería y la matemática. Como metodología de diseño usaremos “diseño concurrente” que es ideal para el diseño de prototipos Mecatrónicos, y se basa en analizar el diseño desde todos los puntos de vista, mecánico, electrónico, de programación al mismo tiempo. [6] Las fases son Estudio y Diseño del prototipo, Diseño e implementación, Pruebas de conexión y emulación. [7] Los productos son:

1. Prototipo de medición del impacto por golpe y choque mecánicos en los lóbulos del cerebro.
2. Conexión a interfaz en Excel para percibir la señal de impacto en cada lóbulo del cerebro.
3. Análisis experimental de diferentes impactos en los lóbulos del cerebro y caracterización usando interpoladores matemáticos para establecer ecuaciones de perfilamiento del impacto en magnitud real.

D. Antecedentes

En el 2018, el artículo titulado “Jóvenes futbolistas australianos experimentan fuerzas de impacto en la cabeza como jugadores de las ligas junior y senior: un estudio prospectivo de las mediciones cinemáticas”. Artículo desarrollado por Hecimovich, Mark; King, Doug; Dempsey, Alasdair; publicado en “JOURNAL OF SPORTS SCIENCE AND MEDICINE”, nos aportó conocimiento sobre las consecuencias de los impactos [8].

En el 2017 el trabajo titulado “La influencia de la energía de deformación acumulada en la medición por el método DSI en las propiedades mecánicas seleccionadas de los tejidos óseos”. Realizado por Makuch, Anna M.; Skalski, Konstanty R.; Pawlikowski, Marek y publicado en “ACTA OF BIOENGINEERING AND BIOMECHANICS”, nos aportó formas de generar medición sobre los golpes y la amplitud [9].

En el 2015 el artículo denominado “Medición de la fuerza del impacto de los atletas de Taekwondo, evaluando la posibilidad de lesiones de la cabeza humana” y que tiene por autores a Svoboda, Martin; Soukup, Josef; Jelen, Karel; y presentado en la “Conferencia: 20th International Slovak-Polish Conference on Machine

Modeling and Simulations (MMS)”, nos aportó ideas de cómo medir la fuerza de impacto. Debemos tener en cuenta que se tomó en cuenta lo que podíamos aplicar [10].

E. Traumatismo Encefalocraneano (TEC)

Se realizó un estudio del Traumatismo Encefalocraneano (TEC) que nos enseñó que en los niños y adolescentes los TEC son causados principalmente por caídas, golpes deportivos y accidentes de tránsito [3], tal como se aprecia en la tabla 1. También se realizó un estudio sobre el cerebro sus lóbulos y sus principales funciones

TABLA I. CAUSAS DE TEC SEGÚN EDAD.

EDAD	MECANISMO FRECUENTE	MAYOR SEVERIDAD	COMENTARIO
< DE 2 AÑOS	CAIDAS	ACCIDENTE DE TRÁNSITO	EL TRAUMA SEVERO ES RARO ACCIDENTE DE TRÁNSITO COMO PASAJERO LIBRE
2 A 15 AÑOS	CAIDAS	ACCIDENTE DE TRÁNSITO	PACIENTE PEATÓN
6 A 12 AÑOS	CAIDAS	ACCIDENTE DE TRÁNSITO	PACIENTE PEATÓN
ADOLESCENTES	ACCIDENTE DE TRÁNSITO ASALTOS TRAUMA DEPORTIVO	ACCIDENTE DE TRÁNSITO ASALTOS	PACIENTE ES CONDUCTOR, PEATÓN O COPILOTO

FUENTE: FELIPE OTAYZA M. REVISTA CHILENA DE PEDIATRÍA 2000 [11]

IV. DESARROLLO DEL DISEÑO

Se inició con la selección de la instrumentación y la tarjeta de procesamiento. Para el desarrollo del sensor escogimos el material Velostat de referencia ADAFR 1361 que es sensible a la presión ejercida sobre él de tal manera que a mayor presión menor resistencia.

A. Instrumentación con ADAFR-1361 -Velostat

Este material conductivo también conocido como Velostat o Linqstat es un accesorio ideal para tus sensores tipo Wearable. Este material es sensible a la presión ejercida sobre él de tal manera que a mayor presión menor resistencia.

Características:

- Grosor 4mil / 0.1mm
- Límites de temperatura - 45°C hasta 65°C
- Resistividad por volumen <500 ohm-cm
- Resistencia por superficie < 31Kohms/cm cuadrado

B. Procesamiento: ARDUINO UNO

Para el procesamiento se escogió la Arduino UNO, dado que cuenta con 14 pines entra/salida y 6 entradas análogas. Suficientes para las necesidades del proyecto.

Características

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje Operativo: 5v
- Voltaje de Entrada (Recomendado): 7 – 12 v

- Pines de Entradas/Salidas Digital: 14 (De las cuales 6 son salidas PWM) Pines de Entradas Análogos: 6
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por
- Bootloader.
- SRAM: 2 KB (ATmega328) EEPROM: 1 KB (ATmega328) Velocidad del Reloj: 16 MHZ

C. Visualización HMI en Excel de STEM de Microsoft Education

Se optó por seleccionar la interface de visualización para lo que se escogió la HMI (interface humano máquina) en Excel de STEM de Microsoft Education. Todo bajo la guía STEM de Microsoft Education en el desarrollo de un sistema de estudio de impactos en el cerebro, Ver Fig. 1.

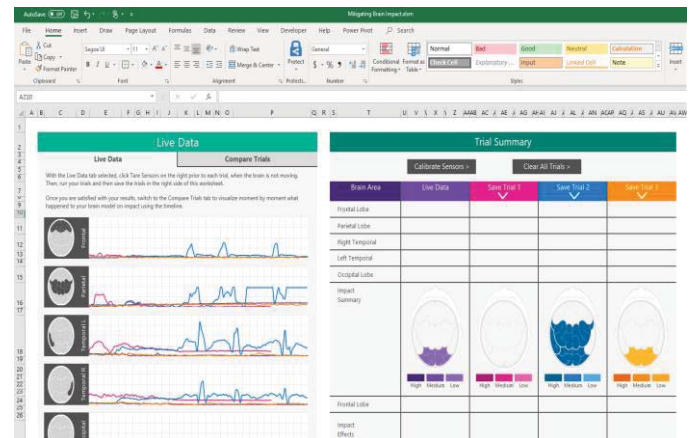


Fig.1 HMI en Excel de STEM de Microsoft Education. Fuente: Microsoft Education [12]

D. Desarrollo del sensor de ADAFR 1361 Velostat

A continuación, en la Fig 2, se puede visualizar la composición en capas del sensor desarrollado.



Fig.2 Sensor de ADAFR-1361 -Velostat. Fuente: Microsoft Education [13]

E. Desarrollo de maqueta de prueba de impactos

En la Fig.3, se puede visualizar una maqueta de casco en el que se distribuyan los sensores de percepción del impacto de choque mecánico en los diferentes lóbulos del cerebro.



Fig. 3 Maqueta con distribución de sensores de ADAFR-1361 -Velostat.
Fuente: Propia.

F. Captación de la señal de los Sensores y código de lectura

Para el código en la tarjeta de desarrollo Arduino que debe registrar los datos del sensor de cada lóbulo y los remite a la tarjeta arduino, y está a la HMI; donde podremos ver la señal de voltaje del impacto y con una curva interpolada de ajuste saber el valor real del golpe. El código puede resumirse en convertir la variación de resistencia del Velostat causada por cada golpe en una variación de voltaje, que es entregada a las entradas analógicas de la arduino. En la Fig 4, se visualiza el plano de conexión de la señal de los sensores acoplados e la modalidad divisor de voltaje acopladas en las entradas analógicas de la arduino y las imágenes de como acoplamos los sensores a la maqueta.

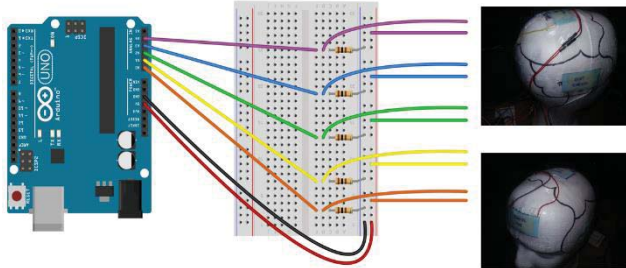
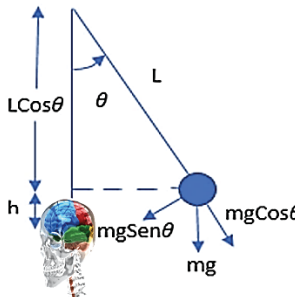


Fig. 4 Plano de conexión de sensores de ADAFR-1361 -Velostat a la tarjeta y maqueta. Fuente: Propia.

G. Caracterización de los sensores e Interpolación de función de comportamiento

Para el cuarto objetivo que consistía en Articular el sistema de sensado de impacto de todos los lóbulos con la interfaz de visualización en Excel de señales choques mecánicos. Al ocurrir un impacto, el golpe deforma el Velostat del sensor que envía la señal a la arduino y de la arduino a la HMI que nos muestra no solo en q lóbulo está ocurriendo el impacto, sino el valor de la señal; pero este valor no está escalado en términos de fuerza, por lo que se debe desarrollar un modelo matemático, mediante el cual; con pesos conocidos determinar la fuerza del impacto. Con el modelo matemático, se puede pueden generar impactos de magnitud conocida. Al tener un rango de impactos conocidos en términos de la señal,

podremos tener la curva de respuesta de cada sensor y con esta curva interpolar una función que me defina su comportamiento. [14] Las pruebas experimentales se realizaron con un péndulo, al cual se le varían la masa para generar impactos de diferente valor, pero dependientes del ángulo del péndulo en el que se deje caer la masa y del peso de esta. En la Fig. 5 se muestra un ejemplo de la aplicación del modelo con una masa conocida.



$$\begin{aligned}
 E_p &= mgh \\
 m &= 0.172Kg \\
 h &= L - L\cos\theta = 0.45m - 0.45\cos60^\circ \\
 &= 0.225m \\
 E_p &= (0.172Kg) * (9.807 \frac{Kg * m}{s^2}) * (0.225m) \\
 E_p &= 0.379 \frac{Kg * m^2}{s^2} = 0.379J \\
 S &= r\theta \\
 S &= \frac{2\pi r\theta}{360^\circ} \\
 S &= \frac{2\pi(0.45)(60^\circ)}{360^\circ} \\
 S &= 0.4712m \\
 F &= E_p/S
 \end{aligned}$$

Fig.5 Ejemplo de determinación de la fuerza de impacto, usand un mecanismo de pendulo al variar el angulo y las masas. Fuente: Propia.

A continuación, en la Fig 6, se puede visualizar los aprendices de Tecnoacademia Cúcuta, realizando el pesaje de las masas y pruebas experimentales para caracterizar los sensores.

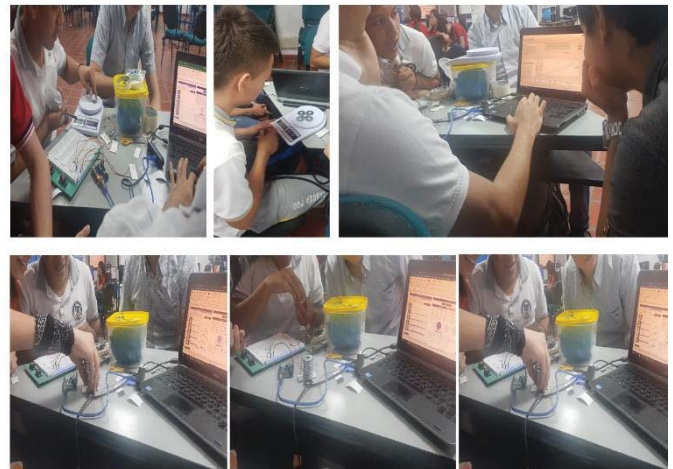


Fig.6 Determinación de pesos conocidos y prueba sexperimentales, para la caracterización de sensores. Fuente: Propia.

Los aprendices se capacitaron para usar el programa CFTOOL de MATLAB para la interpolación de curvas. La idea de usar el programa CFTOOL es crear una función que obtenga la fuerza en términos de la amplitud de voltaje leída por cada sensor y representada en la HMI, ver Fig 7.

Dedido a que sin importar el cuidado tenido al desarrollar y ensamplar los sensores, tratando que sean idénticos; esto no puede gatantizarse. Por tal, el proceso de caracterización y de interpolación de curva de comportamiento se debe aplicar a cada sensor, ver Fig 8. Una vez interpoladas las funciones de cada sensor estas son

programas en la HMI de excel donde la tarjeta envía la amplitud del impacto para verla como fuerza de choque y dependiendo del sensor donde ocurre sabremos en que lóbulo esta ocurriendo el impacto; ver Fig 9.

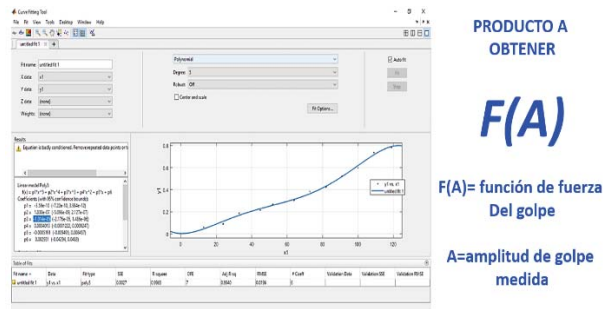


Fig.7 Cftool de Matlab para interpolación de la función de caracterización de sensores. Fuente: Propia.

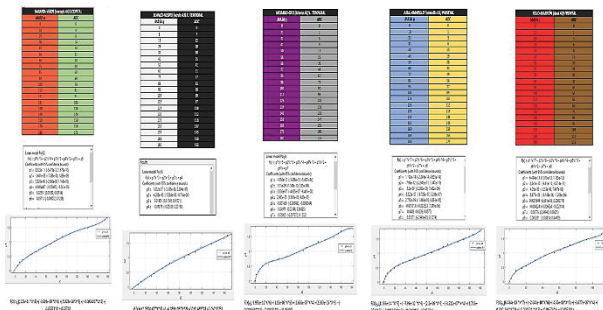


Fig.8 Cftool de Matlab aplicado a la data de respuesta de cada sensor y las curvas de respuesta. Fuente: Propia.

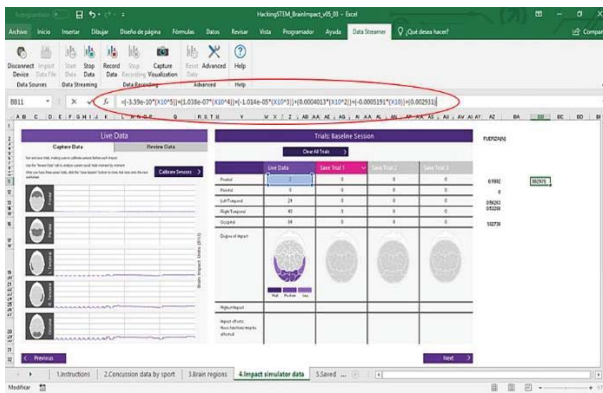


Fig. 9 Programación en la HMI de Excel las funciones interpoladas de cada sensor. Fuente: Propia.

V. CONCLUSIONES

El diseño de sistemas de percepción del impacto de choques mecánicos y golpes a nivel cerebral de manera automatizada permite robustecer el establecimiento de los daños según la magnitud y según la región cerebral que sea impactada.

Los lóbulos del cerebro cumplen funciones particulares, por ello es necesario la distribución de medición de impacto de golpe y choque mecánico para cada uno de ellos, de manera; que se pueda establecer de manera individualizada las magnitudes de los choques sufridos.

Sensar el impacto por golpe o por choque mecánico y obtener su representación gráfica, no sería de ninguna utilidad más allá de evidenciar la presencia de dicha fuerza negativa. Es necesario poder caracterizar matemáticamente la señal y escalarla mediante el uso de pruebas con fuerzas conocidas para obtener una representación matemática que permita no solo evaluar cualitativamente, sino cuantitativamente el impacto registrado. [15]

La metodología STEM llevada al plano del desarrollo de proyectos de investigación aplicada por estudiantes de bachillerato y en este caso por los aprendices de Tecnoacademia Cúcuta, provee un marco metodológico, basado en la sinergia de la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas. Esta última rama, permite el establecimiento y uso de métodos de interpolación para poder lograr una representación matemática útil para cuantificar el impacto de choques mecánicos en el cerebro, previo registro y evaluación de la señal.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Ollero, A. (2001). Robótica: Manipuladores y robots móviles. Barcelona: <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12480>.
- [2] Vera Luzuriega, J. G. (2017). Control de trayectoria de la simulación de un brazo robot de 5 grados de libertad. valencia: tesis de grado.
- [3] Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2007). *Neuroscience: Exploring the Brain, 3rd Edition*. Estados Unidos: Lippincott Williams & Wilkins.
- [4] Bullo Francesco, Cortés Jorge, Martínez Sonia, 2009. Distributed Control of Robotic Networks EBook. Editorial: Princeton University Press
- [5] Reyes Cortes Fernando, 2011. Robótica: Control De Robots Manipuladores Editorial: S.A. MARCOMBO
- [6] Fusario Rubén Jorge; Patricia S. Crotti; Andres P.M. Bursztyn, 2013. Teoría De Control Para Informáticos Editorial: S.A. MARCOMBO
- [7] Vivas Albán Oscar Andrés, *Diseño Y Control De Robots Industriales*. Teoría Y Práctica. Editorial: ELALEPH 2011.
- [8] Hecimovich, M., King, D., Dempsey, A., Gittin, M., & Murphy, M. (2018). Youth Australian Footballers Experience Similar Impact Forces to the Head as Junior- and Senior-League Players: A Prospective Study of Kinematic Measurements . *Journal of Sports Science and Medicine* , 547-556.
- [9] Makuch A, Skalski, K., Pawlikowski M. The influence of the cumulated deformation energy in the measurement by the DSI method on the selected mechanical properties of bone tissues. *ACTA OF BIOENGINEERING AND BIOMECHANICS* Volumen: 19 Número: 2, 2017, Páginas: 79-91 Svoboda
- [10] M, Soukup J, Jelen K. Measurement of force impact Taekwondo athletes, assessing the possibility of injury of human head; et ál. Conferencia: 20th International Slovak-Polish Conference on Machine Modeling and Simulations (MMS) Ubicación: Terchova, SLOVAKIA. Patrocinador(es): Alexander Dubcek Univ Trencin, Fac Ind Technologies 20TH INTERNATIONAL CONFERENCE MACHINE MODELING AND SIMULATIONS, MMS 2015 Colección: Procedia Engineering Volumen: 136 Páginas: 211-215 Fecha de publicación: 2016
- [11] Otayza F. Traumatismo encefalocraneano. *Revista chilena de pediatría. versión impresa* ISSN 0370-4106. Rev. chil. pediatr. v.71 n.4 Santiago. 2000.
- [12] STEM MICROSOFT, BRAIN IMPACT SIMULATOR. Building models to understand and mitigate brain injur; Hacking STEM MICROSOFT, 2018.
- [13] Microsoft. (2018). Microsoft. Obtenido de Microsoft: <https://www.microsoft.com/en-us/education/education-workshop/brain-impact-simulator.aspx>.
- [14] P.M. TAYLOR, *MANUAL DE CONTROL ROBOTICO*, Editorial: CEAC. 1992.

- [15] K S FY; R C González,, *Robótica Control Detección Visión e Inteligencia*. Editorial: MCGRAW-HILL. 2011.