

Entorno Académico

Revista de divulgación científica
del Instituto Tecnológico Superior de Cajeme

ILUSTRACIÓN: JOAN ALTURO





Editorial

El Instituto Tecnológico Superior de Cajeme refrenda continuamente su compromiso con la sociedad, proporcionando soluciones a situaciones problemáticas que se presentan diariamente en nuestra comunidad. Dichas soluciones se plasman a través del desarrollo de conocimiento científico de frontera enfocado principalmente en problemas sociales, quedando esto plasmado en la presentación de 5 artículos científicos con clara orientación social e industrial.

Primeramente se presenta un artículo donde se muestra el diseño de una prótesis para personas que han perdido alguna de sus manos, lo cual representa una opción viable de bajo costo. Como segunda propuesta se presenta un proyecto que permite el crear un auxiliar eléctrico de a base de grafito, el cual podrá apoyar a las comunidades rurales de escasos recursos con su abastecimiento de luz eléctrica.

Como tercer artículo nos encontramos nuevamente con un proyecto que ha sido empleado en la rehabilitación de infantes que presentan parálisis cerebral, esto se logra empleando un dado que presenta un color diferente en cada una de sus caras lo que permitirá al menor asociar colores y sonidos con actividades determinadas por un especialista. En este mismo tenor se presenta los resultados de una cuarta investigación, la cual se encuentra en desarrollo, en la que se propone el diseño de un sistema para rehabilitación de la marcha el cual podrá ser utilizado en un futuro por niños que sufren parálisis cerebral, lo que representará una opción viable para centros de rehabilitación de la comunidad. Por último el cuerpo académico de arquitectura presenta la adaptación de una técnica de construcción llamada “súper adobe” lo que permitirá proporcionar una vivienda básica de calidad, con mayores ventajas técnicas que las actuales, durabilidad y con un menor impacto económico para las familias. Por todo lo anteriormente relatado, espero que esta edición de la revista académico sea de su interés.

Respetuosamente,
“Casa Abierta al Tiempo y las Ideas”

Lic. Gabriel Baldenebro Patrón
Director General del Instituto Tecnológico Superior de Cajeme

Directorio

DIRECTORIO GENERAL

- Mtro. Aurelio Nuño Mayer**
Secretario de Educación Pública
- Mtro. Efrén Rojas Dávila**
Subsecretario de Educación Superior
- Mtro. Juan Manuel Cantú Vázquez**
Director General de Educación Superior Tecnológica
- M.C. Manuel Chávez Sáenz**
Director de Institutos Tecnológicos Descentralizados
- Mtro. Ernesto De Lucas Hopkins**
Secretario de Educación y Cultura del Gobierno del Estado de Sonora
- Mtro. Onésimo Mariscales Delgadillo**
Subsecretario de Educación Media Superior y Superior de la SEC del Estado de Sonora
- Mtro. Sergio Duarte Escoboza**
Subsecretario de Planeación y Administración de la SEC del Estado de Sonora
- Mtro. Jose Victor Guerrero Gonzalez**
Encargado de la Subsecretaría de Educación Básica de la SEC en el Estado de Sonora

DIRECTORIO INSTITUCIONAL

- Lic. Gabriel Baldenebro Patrón**
Dirección
- Mtra. Marcela Haydée Osuna Perez**
Dirección Académica
- Lic. Obed Valenzuela Fraijo**
Dirección de Vinculación
- Mtra. Olga Margarita Araux Sánchez**
Subdirección Académica
- Dr. Martín Villa Ibarra**
Subdirección de Posgrado e Investigación
- Lic. Lucía Avilés Castillo**
Subdirección de Vinculación
- Ing. Mario Alejandro Gutiérrez De Vore**
Subdirección de Servicios Administrativos
- Ing. Francisco Leopoldo Lugo Quirarte**
Subdirección de Planeación
- Mtra. Lilia Beatriz Navarro Fragoso**
Departamento de Desarrollo Académico
- Mtro. Jesús D. Huicoy Duarte**
Dpto. de Tecnologías de la Información y Comunicación
- Mtra. Nora Iveth Torres Salazar**
Departamento de Planeación y Programación
- C.P.C. Hiram Omar Romero Márquez**
Departamento de Personal
- Mtra. Guadalupe Vásquez Chávez**
Departamento de Calidad
- Lic. Doris Janeth Rivera Rivera**
Departamento de Operación y Control Escolar
- Mtra. Fabiola Morales Ortega**
Departamento de Recursos Financieros
- C. Zayda Vivian Villegas Elías**
Departamento de Vinculación
- Ing. Lino Noriega Panduro**
Departamento de Recursos Materiales y Servicios
- Arq. Lorenzo García Gámez**
División de Arquitectura
- Ing. Bernardo Morales Cervantes**
División de Ingeniería Ambiental
- Mtro. José Lionso Salazar Huerta**
División de Ingeniería Electrónica
- Mtro. Hiram Álvarez Velázquez**
División de Ingeniería en Sistemas Computacionales
- Mtra. Norma Aideé Ríos Lugo**
División de Ingeniería Industrial
- Mtra. Teresita Burgos Ochoa**
División de Ingeniería Mecánica
- Mtro. Alberto Limón Valencia**
División de Licenciatura en Administración
- Mtra. Rocío Grajeda Caballero**
División de Ingeniería en Gestión Empresarial
- Dra. Socorro del Rivero Jiménez**
División de Ciencias Básicas
- Mtro. Juan Eduardo Aguilar Ángeles**
Coordinación de Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana
- Dr. Alberto Ramírez Treviño**
Coordinación de Maestría en Ing. Mecatrónica
- Mtra. Carla Olimpya Zapuche Moreno**
Coordinación de Maestría en Administración
- Dr. Bruno Pablos Lugo**
Coordinación de Maestría en Educación
- Lic. Adelisa Machado Acosta**
Coordinación de Idiomas
- Lic. Paulina Tautimer Delgado**
Coordinación de Servicios Estudiantiles
- Mtra. Mariela Rubí Navarro Valdez**
Coordinación de Educación a Distancia
- Mtro. Ricardo Alonso Hernández**
Coordinación de Cultura

COMITÉ EDITORIAL

- Dr. Martín Villa**
Dr. Mirko Marzadro
Dr. Juan Enrique Palomares
Mtra. Margarita Araux
IBQ. Claudia Irene Rivera

CONSEJO DE PUBLICACIONES

- Lic. Gabriel Baldenebro Patrón**
Consejero Presidente
- Mtra. Marcela Haydee Osuna Perez**
Consejero Secretario
- Mtro. Ricardo Alonso Hernández**
Consejero de Docencia

COMITÉ DE PRODUCCIÓN

- Dr. Juan Enrique Palomares**
Editor responsable
- Ing. Claudia Irene Rivera Castro**
Editor Ejecutivo
- Lic. Jonathan Alberto Monteverde López**
Responsable de Diseño y Producción Digital

COLABORADORES

- Jesús Ignacio Duarte León
Baldomero Lucero Velázquez
Eusebio Jiménez López
Juan José Delfín Vásquez
José Efrén Ruelas Ruiz
Bruno Pablos Lugo
Ricardo Partida Reyes
Adrián Alberto López Rivera
José Daniel Arreola García
Alberto Ramírez Treviño
Flavio Muñoz Beltrán
Paola Berenice Orozco Casillas
Juan Enrique Palomares Ruiz
Leobardo Rodríguez Contreras
José Guadalupe Castro Lugo
José Manuel Romero Balderrama
Neptalí Marcial Chávez
Bruno García Llanes
Luis Alberto Cuevas Othon
Jesús Iván Brambila Zazueta
Ana Mayra Luna Rodríguez
Iván Oswaldo Luna Rodríguez
Rubén Navarro García

ENTORNO ACADÉMICO, año 16, No. 22, Mayo 2019, es una publicación semestral editada por el Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, Carretera Internacional a Nogales Km. 2, Col. Amaneceres 2, Cajeme, Sonora, C.P. 85024, Tel. 01 64 44 10 86 50, www.itesca.edu.mx, jepalomares@itesca.edu.mx. Editor responsable: Dr. Juan Enrique Palomares ISSN: 2448-7635, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Lic. Martha Vázquez Amaya, Comunicación Social del Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, Carretera Internacional a Nogales Km. 2, Col. Amaneceres 2, Cajeme, Sonora, C.P. 85024, fecha de última modificación, mayo de 2016. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Tecnológico Superior de Cajeme.

Índice:

Diseño de prótesis de mano transradial de control mioeléctrico	5-11
Grafitaux auxiliar eléctrico implementado a base de grafito	12-16
Prototipo de un dado para estimulación en niños con parálisis cerebral	17-21
Diseño y modelado de un sistema para rehabilitación de la marcha en niños con parálisis cerebral	22-30
Adaptación de la técnica constructiva Súper Adobe, para localidades del municipio de Cajeme	31-36
Implementación de un tablero sensorial para apoyo en la terapia de rehabilitación	37-41



Diseño de prótesis de mano transradial de control mioeléctrico

J. Duarte-León¹, B. Lucero-Velázquez^{1,*}, E. Jiménez-López², J. Delfín-Vásquez¹, J. Ruelas-Ruiz¹

¹Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, Jefatura de División de Ing. Mecánica, Carretera Internacional a Nogales Km. 2, CP. 85024, Cd. Obregón Sonora, México.

²CIAAM Universidad Tecnológica del Sur de Sonora-ULSA Noroeste-IIMM, Departamento de Investigación y desarrollo, Dr. Norman Borlaug, Km 14-85095, Cd. Obregón, Sonora, México.

*e-mail: blv@itesca.edu.mx

Resumen: *En el presente trabajo se muestra el desarrollo de un prototipo de prótesis para miembro superior, a nivel transradial en mano, el cual se controlará por un conjunto electrónico formado por servomotores, sensor de señales electromiográficas y un microprocesador. Se pretende explicar de manera breve el diseño a realizar y como se lleva a cabo su fabricación, por medio del proceso de modelado por deposición fundida. Se muestra la metodología completa para el diseño y fabricación tomando gran énfasis en la impresión 3D y ensamble de las piezas finales. También se explica el uso de un microprocesador incorporado en una placa programable Arduino, con el cual se realiza la interacción persona-dispositivo.*

Palabras clave: Prototipo, prótesis, mano, electromiográficas, impresión en 3D, Arduino.

Abstract: *This work shows the development of a prosthesis prototype for upper limb, at the transradial level in hand, which will be controlled by an electronic assembly formed by servo motors, electromyography signal sensor and a microprocessor. It is intended to briefly explain the design to be made and how it is manufactured, by means of the molten deposition modeling process. The complete methodology for design and manufacturing is shown, with great emphasis on 3D printing and assembly of the final pieces. The use of a microprocessor incorporated in an Arduino programmable board is also explained, with which the person-device interaction is performed.*

Keywords: Prototype, prosthesis, hand, electromyography, 3D printing, Arduino.

1. Introducción

1.1. Investigaciones y desarrollo recientes

Entre los países con mayor avance tecnológico e investigación sobre prótesis, se encuentran Alemania, Estados Unidos, Francia, Inglaterra y Japón [1,2].

En las últimas décadas se han registrado grandes avances en el ámbito de las prótesis. Esto ha permitido que cada vez se asemejen más a las extremidades que intentan reemplazar, y hoy se pueda hablar de prótesis robóticas o biónicas.

Actualmente la investigación en prótesis ofrece sistemas capaces de formar una conexión mente-máquina, gracias a implantes de electrodos en los nervios, que interpretan las señales eléctricas y las traducen en movimientos mecánicos.

Los principales modelos de prótesis biónicas, miembros

superior e inferior, se exponen a continuación. [3]

1.2. Prótesis biónica de mano

El proyecto NEBIAS6 [4] (Neurocontrolled Bidirectional Artificial upper limb and hand prosthesis), es la continuación de una investigación multidisciplinar intensiva en este ámbito que dió comienzo hace años con el proyecto CYBERHAND, perteneciente a la actividad “Tecnologías futuras y emergentes (FET) del Quinto Programa Marco (5PM, 2002-2005)”. Logró crear un prototipo de mano mecánica y en los “Programas Marco Sexto y Séptimo (6PM y 7PM)”, se intensificó la investigación sobre la conexión de agentes robóticos y el sistema nervioso, hasta que se ensayó con éxito un prototipo de electrodo carente de información sensorial. En la Fig. 1 se expone esta mano biónica considerada actualmente como el modelo más avanzado de los

existentes.

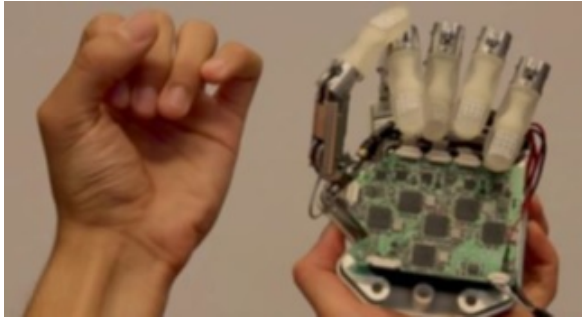


Figura 1. Mano biónica. Proyecto NEBIAS.

1.3. Prótesis biónica de brazo

Es el tipo de prótesis más evolucionada. Sintetiza mejor el aspecto estético, es de gran fuerza y velocidad de prensión y tiene otras muchas posibilidades de combinación o ampliación. Las prótesis de brazo llevan incorporada una de mano, para cualquier nivel de amputación. Tiene la función de apertura y cierre, mediante un sistema de accionamiento miniaturizado. Incorpora un pequeño motor de alto desarrollo que mueve los dedos medio e índice, así como el pulgar abriendo y cerrando la mano.

La empresa Open Bionics [5, 6] creó el primer brazo biónico en el proyecto “Phantom Limb”. Se trata de una prótesis robótica que se controla mediante sensores conectados a los músculos del hombro. Permite que esta prótesis robótica interprete las señales enviadas por el cerebro y las traduzca en ejecuciones. Este brazo biónico es capaz de abrir y cerrar el puño, mover el dedo pulgar de forma independiente, apuntar con los otros dedos, etc. Se controla de forma mioeléctrica y los sensores reconocen diferentes patrones de movimiento que el usuario realiza al tensar su hombro de forma específica. Estos sensores están conectados con cables a una unidad procesadora que se adapta bajo la ropa junto con su batería recargable. En la Fig. 2 se presenta la prótesis de brazo resultante de este proyecto.

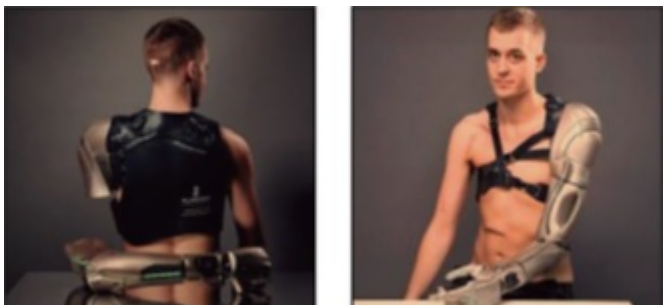


Figura 2. Brazo biónico. Proyecto Phantom Limb.

1.4. Manos protésicas mioeléctricas

La tecnología mioeléctrica comenzó a implementarse en las prótesis de extremidad superior en la década de los sesentas. La incorporación de sensores que captan la actividad electromiográfica (EMG) de los músculos remanentes del muñón y lo traducen a un movimiento de la mano protésica constituyó un gran salto en la calidad de las prótesis de extremidad superior [7]. La principal ventaja de este tipo de prótesis radica en que no requieren de arnés ni de fuerza muscular para operar, se puede regular la velocidad y la fuerza de prensión y son cosméticas.

Sus principales desventajas radican en su costo, peso y limitado rango de acción. Las manos mioeléctricas clásicas sólo tienen tres dedos activos y sólo permiten cierre y apertura de la pinza. Esto último constituye una de sus grandes limitaciones pues, a pesar de su moderna tecnología, aún se alejan muchísimo de la función de la mano que intentan emular. Es por esto último, que la adherencia de los usuarios es baja y muchos prefieren volver al clásico gancho mecánico [8,9].

2. Marco teórico

2.1. Prótesis mioeléctricas

Las prótesis mioeléctricas son prótesis eléctricas controladas por medio de un poder externo mioeléctrico, estas prótesis son hoy en día el tipo de miembro artificial con más alto grado de rehabilitación. Sintetizan el mejor aspecto estético, tienen gran fuerza y velocidad de prensión, así como muchas posibilidades de combinación y ampliación.

El control mioeléctrico es probablemente el esquema de control más popular. Se basa en el concepto de que siempre que un músculo en el cuerpo se contrae o se flexiona, se produce una pequeña señal eléctrica (EMG) que es creada por la interacción química en el cuerpo. Esta señal es muy pequeña (5 a 20 μV). Ver Fig. 3.

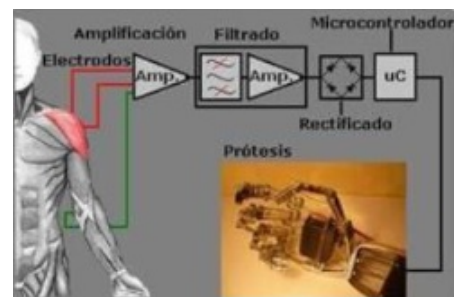


Figura 3. Esquema para la recepción de señal EMG.

El uso de sensores llamados electrodos que entran en contacto con la superficie de la piel permite registrar la señal EMG. Una vez registrada, esta señal se amplifica y es procesada después por un controlador que conmuta los motores encendiéndolos y apagándolos en la mano, la muñeca o el codo para producir movimiento y funcionalidad, esto se puede observar en la Fig. 4.



Figura 4. Prótesis mioeléctrica con electrodos.

Este tipo de prótesis tiene la ventaja de que sólo requieren que el usuario flexione sus músculos para operarla, a diferencia de las prótesis accionadas por el cuerpo que requieren el movimiento general del cuerpo.

2.2. Sensor mioeléctrico

Los nervios que afectaban los músculos amputados están aún presentes en la persona. Estos nervios son accionados por el usuario cuando simula contraer el músculo de la extremidad perdida. Todd Kiuken, un investigador del instituto de rehabilitación de Chicago, desarrolló un método quirúrgico que permite asignar los nervios del músculo amputado a otros músculos, usualmente los del pecho [10].

De esta forma, cuando el paciente intenta mover los músculos de su miembro amputado, acciona los nervios residuales y genera una contracción en los pectorales. Es posible entonces, mediante electrodos superficiales colocados en el pecho, obtener la señal EMG del movimiento del brazo.

2.3. Señal electromiográfica

La señal mioeléctrica representa la actividad eléctrica resultante de la excitabilidad de las fibras musculares, debido a la contracción muscular. La amplitud de dicha señal varía desde los μV hasta valores del orden de los 10mV . En la Fig. 5 se muestra una señal electromiográfica (EMG) típica.

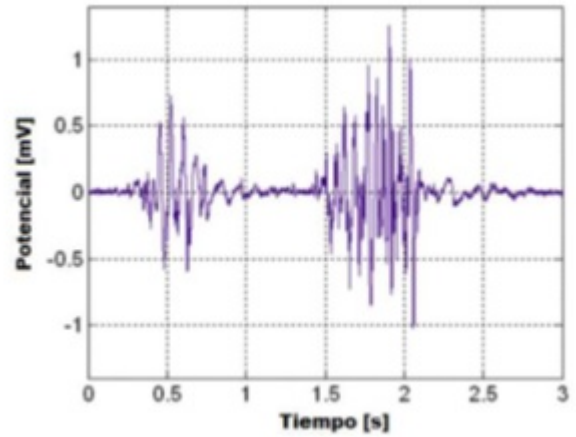


Figura 5. Representación de una señal mioeléctrica.

3. Desarrollo

3.1. Componentes básicos de la prótesis mioeléctrica

Los componentes básicos de la prótesis mioeléctrica son el amplificador EMG o sensor (EMG Amplifier), los electrodos de donde se obtienen las señales eléctricas de los músculos, una batería para alimentar el circuito de accionamiento, el microprocesador que permitirá usar la señal EMG ya amplificada y rectificada para dar control al mecanismo diseñado mediante servomotores. La disposición de estos elementos se ilustra en la Fig 6.

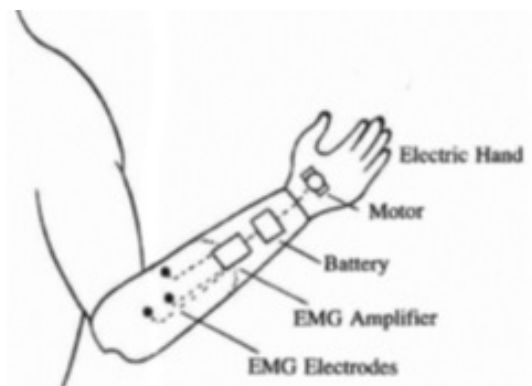


Figura 6. Composición básica de una prótesis de control mioeléctrico.

3.2. Diseño en Solidworks

El proceso para el diseño del dispositivo se muestra en el diagrama de flujo, Fig. 7. Para el diseño de la prótesis se obtuvieron las medidas basándose en la mano izquierda propia. Con ello se empezó a realizar el diseño en el

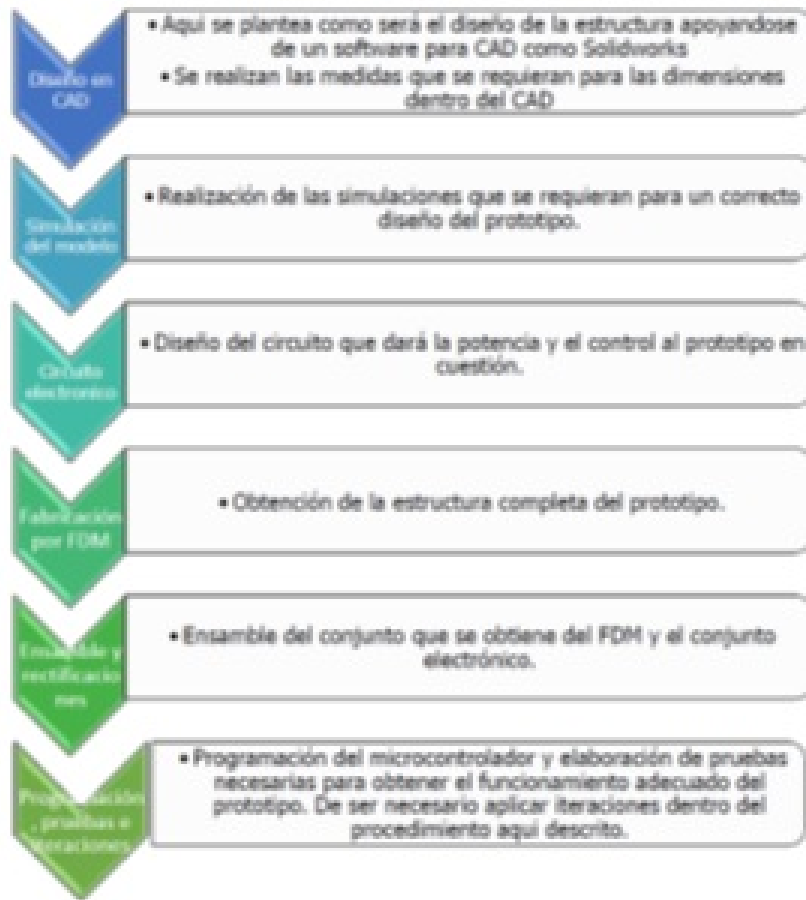


Figura 7. Diagrama de flujo para la elaboración del diseño.

software Solidworks empezando por las falanges de los dedos, Fig. 8.



Figura 8. Diseño para los dedos índice, medio, anular y meñique.

3.3. Ensamble de las piezas

Con las piezas completamente diseñadas se realizan los ensambles correspondientes, tomando en cuenta que para sujetar las tapas de la palma y antebrazo se usan tornillos 6-32 con sus respectivas tuercas, mientras que para sujetar y mantener unidas las partes del antebrazo y la mano se usan tornillos 4-40. Fig. 9.



Figura 9. Ensamble completo de la prótesis.

3.4. Simulación del movimiento

Debido a que el objetivo general es diseñar y fabricar un prototipo y además se tiene a disposición un plazo muy corto para el desarrollo del presente trabajo, se limitará a realizar un estudio de movimiento de las articulaciones. Para esto se hace uso del software Solidworks Motion.

Para la simulación del movimiento de los dedos se utiliza movimiento de motor aplicándole desplazamiento angular con respecto al tiempo. Dicho proceso se muestra en la Fig. 10.



Figura 10. Parametrización del movimiento.

3.5. Diseño del sistema electrónico para potencia y control

Para accionar el movimiento de los dedos se utiliza en conjunto tres micro servomotores SG90, un sensor electromiográfico y una placa programable Arduino nano v3.

Los micros servomotores se distribuyen de tal manera que el primero accione los dedos índice y medio, el segundo accione el dedo anular y meñique, mientras que el tercero acciona el dedo restante, para su funcionamiento estos deben de conectarse a una fuente de alimentación, Fig. 11. En este caso se conectan directamente al microprocesador, además de recibir una señal PWM (Pulse-width modulation) por lo que se conectan a los pines 9, 10 y 11 respectivamente.



Figura 11. Pinout del servomotor.

El sensor electromiográfico MyoWare es el que capta la señal eléctrica, ya filtrada y rectificadora, de un músculo. Su salida va desde 0 a Vs dependiendo de la cantidad de actividad en el músculo que se quiera monitorear, donde Vs es el voltaje de alimentación. Para su utilización se usarán solo 3 pines que son el +Vs y GND de la fuente de alimentación en este caso la placa de Arduino y SIG que será la señal analógica que se capte del músculo. Fig 12.

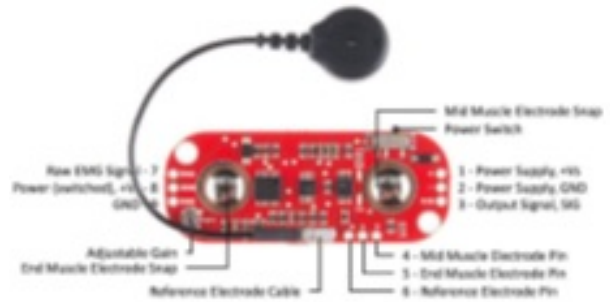


Figura 12. Pinout de Sensor MyoWare.

3.6. Modelado por deposición fundida del diseño

La fabricación del prototipo se lleva a cabo mediante el proceso de modelado por deposición de material fundido. Para ello se utilizó una impresora 3D modelo ANET A8 la cual tiene las siguientes características:

- Volumen de impresión: 220 x 220 x 240 mm
- Cabezales: 1
- Diámetro del cabezal: 0,4 mm
- Espesor de la capa: 0,1–0,3 mm
- Velocidad de impresión: Hasta 100 mm/s
- Diámetro del filamento: 1,75 mm
- Formato de archivo: G-Code, OBJ, STL

3.7. Proceso de impresión

Para la impresión previamente se calibraron los ejes de la impresora para obtener una correcta impresión. Se usa spray fijador para el cabello como método de adherencia de la primera capa y con ello evitar el warping, que es el desprendimiento de las primeras capas.

En las siguientes figuras se observa el proceso de impresión de los diferentes elementos.

3.8. Piezas impresas

Al despegar las piezas de la cama de impresión se tiene que quitar los soportes y el borde que se generan. Quitando estas partes y limando un poco, se tienen listas las piezas. Véase fig. 13.



Figura 13. Pinout de Sensor MyoWare.

3.9. Instalación del sensor MyoWare en el músculo

Para la instalación del sensor se utilizan tres electrodos los cuales se posicionan de acuerdo al músculo del que se busca tomar lecturas en este caso el bíceps, Fig. 14.



Figura 14. Ejemplo de ubicación del sensor para Bíceps.

3.10. Pruebas finales y ensamble completo del prototipo

Comprobando que el código funciona correctamente se hace el ensamble final y se hacen las conexiones en la placa fenólica previamente acondicionada, Fig. 15.

Los resultados obtenidos en la simulación del movimiento se muestran a continuación en las Fig. 16.



Figura 15. Ensamble final del prototipo de la prótesis.

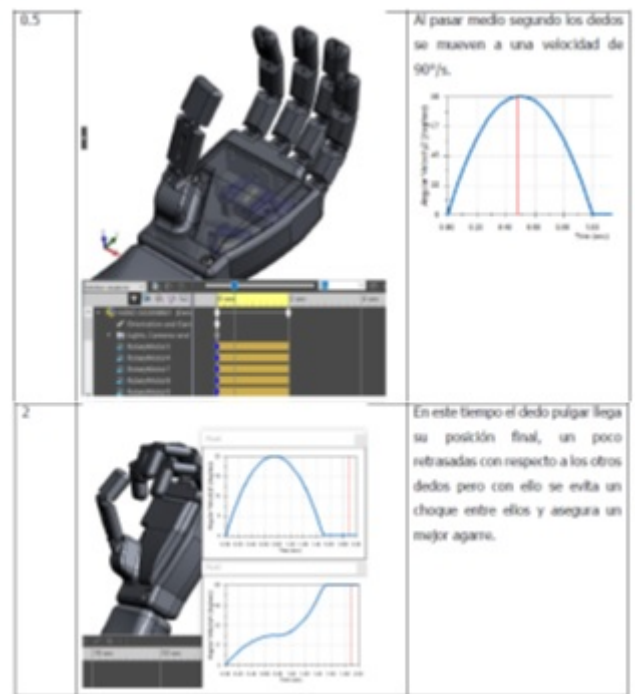


Figura 16. Resultados finales.

4. Recomendaciones y sugerencias

Se recomienda que el diseño propuesto sea mejorado para no tener mayores problemas al momento de realizar los ensambles en físico y además adecuar el diseño de las piezas para que sean impresas de forma correcta.

Al momento de ensamblar las articulaciones no fue posible tener la seguridad de que el prototipo pueda soportar carga considerable, por lo que se sugiere el uso de materiales con propiedades mecánicas más elevadas.

De igual forma se recomienda que se le de gran importancia al uso del sensor, debido a que es susceptible a no responder bien o ser más sensible cuando es afectado por el sudor, polvo, entre otros factores del entorno en el que se instala.

5. Conclusiones

El diseño del prototipo desarrollado en el presente trabajo abre la puerta al desarrollo de futuros proyectos o al mejoramiento de este mediante la inclusión de un mejor sistema de control o de un sistema de potencia más resistente.

Con el presente trabajo se aplicaron conocimientos adquiridos durante todo el transcurso de los ocho semestres cursados. Se apoyó fundamentalmente en el Diseño asistido por computadora gracias al software Solidworks.

Además también se complementó con la Manufactura asistida por computadora para la fabricación de las piezas, haciendo uso de una impresora 3D y el programa Ultimaker Cura.

El prototipo que resultó nos permite observar cómo impacta en la sociedad el desarrollo de dispositivos como este que ayuden a personas discapacitadas a adquirir cierta independencia en su vida diaria.

Falta mucho para adecuarlo a una persona real, pero es una gran base la cual se puede personalizar y acondicionar para cierto sector de la población.

Referencias

- [1] Jesús Manuel Dorador González et al. Robótica y prótesis inteligentes. 2005.
- [2] J Dorador y P Rios. Robótica y prótesis inteligentes. *Revista digital universitaria*, 6(1):1–15, 2004.
- [3] Isabel Sánchez Navarro. Prótesis biónicas, biología y tecnología. *Panorama actual del medicamento*, 42(411):256–259, 2018.
- [4] Silvestro Micera, Jacopo Carpaneto, Stanisa Raspopovic, Giuseppe Granata, Alberto Mazzoni, Calogero M Oddo, Christian Cipriani, Thomas Stieglitz, Matthias Mueller, Xavier Navarro, et al. Toward the development of a neuro-controlled bidirectional hand prosthesis. In *International Workshop on Symbiotic Interaction*, pages 105–110. Springer, 2015.
- [5] Blake Hannaford, Jacob Rosen, Diana W Friedman, Hawkeye King, Phillip Roan, Lei Cheng, Daniel Glozman, Ji Ma, Sina Nia Kosari, y Lee White. Raven-ii: an open platform for surgical robotics research. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60(4):954–959, 2012.
- [6] Nili E Krausz, Ronald AL Rorrer, et al. Design and fabrication of a six degree-of-freedom open source hand. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 24(5):562–572, 2015.
- [7] S Daniela García y V María José Espinoza. Avances en prótesis: una mirada al presente y al futuro. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 25(2):281–285, 2014.
- [8] Bart Peerdeman, Daphne Boere, Heidi Witteveen, Hermie Hermens, Stefano Stramigioli, Hans Rietman, Peter Veltink, Sarthak Misra, et al. Myoelectric forearm prostheses: state of the art from a user-centered perspective. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 48(6), 2011.
- [9] Hermie Hermens, Stefano Stramigioli, Hans Rietman, Peter Veltink, y Sarthak Misra. Myoelectric forearm prostheses: State of the art from a user-centered perspective. *J. Rehabil. Res. Dev.*, 48(6):719, 2011.
- [10] Cinthya Toledo, L Leija, R Munoz, A Vera, y A Ramirez. Upper limb prostheses for amputations above elbow: A review. In *2009 Pan American Health Care Exchanges*, pages 104–108. IEEE, 2009.

Grafitau auxiliar eléctrico implementado a base de grafito

B. Pablos-Lugo^{1,*}, R. Partida-Reyes¹, A. López-Rivera¹, J. Arreola-García¹

¹Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, Jefatura de División de Ing. en Sistemas Computacionales, Carretera Internacional a Nogales Km. 2, CP. 85024, Cd. Obregón Sonora, México.

*e-mail: bpablos@itesca.edu.mx

Resumen: *Este proyecto se realizó con el propósito de crear un auxiliar eléctrico a base de grafito que pudiera ayudar a comunidades rurales de escasos recursos con sus problemas de abastecimiento de luz eléctrica, con el objetivo de lograr un apoyo a la economía de las familias, avances tecnológicos y fomentar las energías renovables. Se aplicaron encuestas en la zona de hornos donde 30 hogares fueron encuestados acerca de los conocimientos que tienen acerca sobre el tema de las propiedades eléctricas del grafito y la factibilidad del proyecto para poder llevarlo a cabo, el 20 % de las viviendas estuvieron casi en su totalidad en desacuerdo por falta de información y conocimiento sobre el tema, se comportaron con una mentalidad conservadora y con poca atención en el tema, el 80 % de las personas de las casas encuestadas, se presentaron atentos al tema, interesados y con una respuesta muy favorable para el proyecto. Se estipuló que el proyecto sería factible si las encuestas superaban el 75 % a favor. La respuesta de la comunidad a encuestas fue mejor de lo esperado por lo cual se puso en marcha la construcción del prototipo de Grafitau un auxiliar eléctrico de carbono a base de grafito responsable con el medio ambiente y el desarrollo sustentable.*

Palabras clave: Pila de Grafito, Auxiliar Eléctrico.

Abstract: *This project was carried out with the purpose of creating a graphite-based electric auxiliary that could help poor rural communities with their electricity supply problems, in order to achieve support for families' economy, technological advances and promote renewable energies. Surveys were applied in the furnace area where 30 households were surveyed about the knowledge they have about the topic of the electrical properties of graphite and the feasibility of the project to be able to carry it out, 20 % of the houses were almost in their totality in disagreement due to lack of information and knowledge on the subject, they behaved of a conservative mentality and with little attention in the subject, 80 % of those of the surveyed houses, were attentive to the subject, interested and with a very favorable response for the project. It was stipulated that the project would be feasible if the surveys exceeded 75 % in favor. The response of the community to surveys was better than expected, which is why we started the construction of the Grafitau prototype, an electric graphite-based carbon auxiliary responsible for the environment and sustainable development.*

Keywords: Graphite battery, electric auxiliary.

1. Introducción

En el presente trabajo se realizó un prototipo de un auxiliar eléctrico a base de grafito, que pretende renovar y mejorar las formas actuales de generar energía eléctrica.

Es una paradoja frustrante para los inversionistas que desembolsan miles de millones de dólares en el sector industrial de esta ciudad al norte del país. Para ellos, el alto costo de la electricidad y la inminente escasez de energía representan serios impedimentos para su competitividad. El problema de la escasez es inquietante para todo el país, pero se espera que sea especialmente serio en los principales centros industriales. [1-3]

El gobierno Mexicano dice que la capacidad de generación eléctrica del país debe aumentar en 13.300 megavatios de aquí a cinco años, para poder satisfacer el crecimiento pronosticado en la demanda. De estos 13.300 megavatios, que requerirían una inversión de más de US\$25.000 millones, no se está construyendo ni siquiera un tercio. Hay que construir rápidamente una enorme capacidad, dice Max Yzaguirre, presidente de Enron México Corp. La generación de energía es el punto estratégico crucial. [4]

En la primera década del siglo XXI, la cobertura eléctrica nacional llegó al 96,6 % en México. Sin embargo, suministrar luz eléctrica a alrededor de 3,5 millones

de personas que aún no tenían acceso, el 60% de las cuales pertenecen a comunidades rurales e indígenas, parecía una tarea particularmente difícil. En gran medida, esto se debía a que la mayor parte de estas personas vive en comunidades pequeñas en lugares alejados que enfrentan otras dificultades graves, entre ellas la falta de servicios e infraestructura básica como caminos, agua, telecomunicaciones, escuelas y atención de salud. El Gobierno reconoció que, debido al crecimiento demográfico, la cantidad de personas sin acceso a electricidad aumentaría en 20% en los siguientes 10 años, transformándose en una cuestión urgente. [5]

1.1. Planteamiento del problema

Se sabe que en la actualidad existen muchos lugares como ejidos, rancherías, comunidades rurales e indígenas, las cuales no tienen el acceso a esta energía.

La problemática que genera este tipo de escasez, son a grandes rasgos, debido a que es necesario para el sustento de la vida cotidiana; Esto viene a representar muchas dificultades para las personas, con factores desde la: iluminación, comunicación, salud e inclusive para el desarrollo de actividades económicas para su propio beneficio.

Volviendo así la necesidad de innovar sobre las nuevas formas de generar alternativas para el desabasto de la energía eléctrica. Este proyecto pretende contribuir como una alternativa de solución a la problemática planteada.

1.2. Justificación

El presente proyecto es de gran relevancia ya que pretende ser una alternativa diferente para ayudar a la forma actual de generar energía eléctrica, creando un buen ambiente para el desarrollo sustentable, económico, y social [6]. Los beneficios que propone este nuevo método es:

- Ser más eficaz
- Menos costoso del ya existente a un largo plazo después de su adición.
- Energía limpia
- Fácil alcance (accesible)

Este mismo pretende ayudar a resolver la problemática de falta de energía eléctrica, principalmente en las comunidades rurales, dando el suficiente abasto y sustento energético a las personas que se encuentran ahí. Así mismo la base de este proyecto es generar un auxiliar eléctrico como adición a una pila que provee energía eléctrica a base

de grafito, tratando de sustentar una de las necesidades básicas del ser humano.

Este mismo pretende ayudar a resolver la problemática de falta de energía eléctrica, principalmente en las comunidades rurales [7], dando el suficiente abasto y sustento energético a las personas que se encuentran ahí. Así mismo la base de este proyecto es generar un auxiliar eléctrico como adición a una pila que provee energía eléctrica a base de grafito, tratando de sustentar una de las necesidades básicas del ser humano.

1.3. Objetivo general

Construir un prototipo a escala, que demuestre el funcionamiento de las propiedades eléctricas que contiene el grafito por medio de un circuito eléctrico, que proporcione la suficiente energía, para prender un foco. Como se muestra en la Fig. 1.

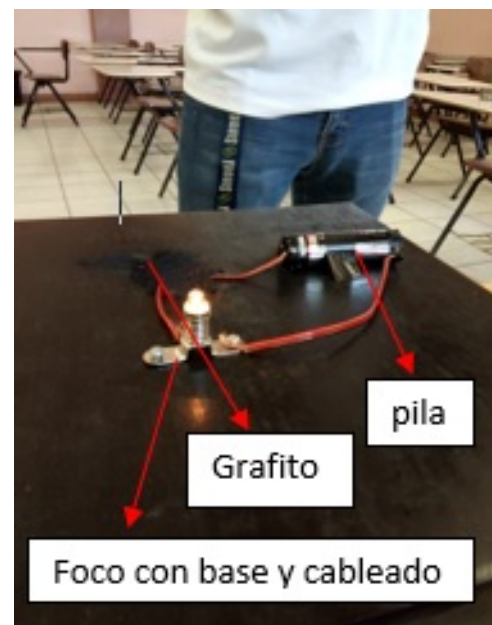


Figura 1. Descripción del prototipo.

1.4. Delimitación

La realización del prototipo se efectuó en el taller de mecánica del Instituto Tecnológico Superior de Cajeme (ITESCA), en donde se mostró el funcionamiento a un ingeniero en geología, durante el semestre Enero-Mayo del 2019.

2. Marco Teórico

En la actualidad la energía eléctrica es una de las cosas más comunes en nuestra vida, están cotidiana que a veces

no nos percatamos de la importancia que tiene, estamos tan acostumbrados a los beneficios que nos brinda que en ocasiones ya no es importante conocerla más a fondo.

En una de las formas de manifestarse la energía. Tiene como cualidades la docilidad en su control, la fácil y limpia transformación de energía en trabajo, y el rápido y eficaz transporte, son las cualidades que permiten a la electricidad ser “casi” la energía perfecta.

El gran problema de la electricidad es su dificultad para almacenarla. Si en estos momentos se pudiera condensar el fluido eléctrico con la misma facilidad con lo que se almacena cualquier otro fluido energético, por ejemplo la gasolina, estaríamos ante una de las mayores revoluciones tecnológicas de nuestro tiempo.

Los fundamentos físicos de la electricidad se explican a partir del modelo atómico.

La materia está compuesta por un conjunto de partículas elementales: electrones, protones y neutrones. Cuando un átomo tiene el mismo número de protones (cargas positivas) que de electrones (cargas negativas) es eléctricamente neutro. Es decir, la electricidad no se manifiesta, ya que las cargas de diferente signo se neutralizan. Los electrones de las capas más alejadas del núcleo, sobre todo de los átomos metálicos, tienen cierta facilidad para desprenderse.

Cuando un átomo pierde electrones queda cargado positivamente y si, por el contrario, captura electrones, entonces queda cargado negativamente.

2.1. Método

Se realizó una búsqueda de manera documental apoyados por bases de datos en internet, en diferentes investigaciones relacionadas, artículos y documentos relacionados con el tema, el cual fue base para impartir la realización del proyecto, posterior a este analizamos los documentos, e identificamos el problema principal para el aporte o su resolución.

Los resultados ayudarán para la implementación de crear nuevas formas de generar energía eléctrica, fomentando el desarrollo sustentable.

Para mostrar el método general de investigación (como se muestra la siguiente Fig. 2)

Se realizó el prototipo de la siguiente manera:

Materiales:

- Se necesitó una caja para la instalación de los componentes.



Figura 2. Descripción gráfica del proceso de elaboración del prototipo.

- cableado conductor de .22mm, un foco de 1.2 Voltios con su base o termina.
- Una pila de 1300A, cinta aislante.
- 2 chinchetas, además de herramientas como pinzas, tijeras y por último lo más importante grafito molido.

2. Se armó el prototipo, iniciando por el cableado, este se conectó en un extremo positivo de la pila, el otro extremo al porta lámparas. El otro cable al extremo negativo de la pila y el otro extremo a una chincheta, la otra chincheta separada a una distancia de 1 cm, conectada al extremo de un cable y el otro extremo del cable conectado al lado negativo de la pila. Como se muestra en la Fig. 3.

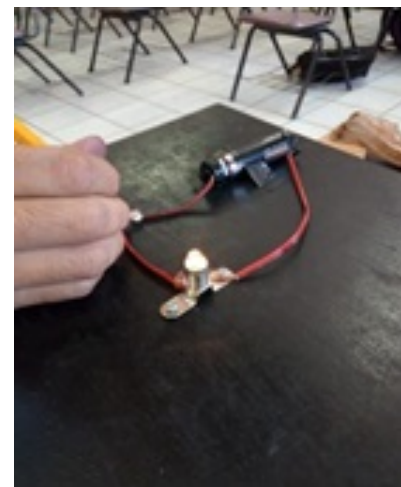


Figura 3. Proceso de armado.

3. Resultados

La demostración se realizó el día 6 de mayo del 2019, dentro de las instalaciones del ITESCA. Ocurrida la demostración del prototipo “GRAFITAUX” a los ojos de

compañeros de ingeniería en geociencias, el Dr. Bruno Pablos, que tiene como objetivo principal crear nuevas formas de mejorar el abastecimiento de energía eléctrica en este caso a través del grafito.

Demostrando que el funcionamiento de las propiedades eléctricas del grafito son lo suficientemente buenas como para abastecer o proporcionar energía eléctrica con éxito.

Las pruebas con el prototipo hecho iniciaron con un conductor ya conocido que es el metal, se colocó entre las dos chinchetas (interruptor) y de demostró continuidad. Como se mostró en la Fig. 3.

Después se hicieron pruebas con lápices hechos a base de grafito, demostrando así su conductividad, se demostró que a mayor cantidad de grafito contenga el lápiz, mayor es la iluminación de la lámpara. Como se muestra en la Fig. 4.



Figura 4. Pruebas del prototipo, utilizando metal.

Al final de hizo una prueba con grafito molido colocado en los interruptores de chinchetas, el grafito mostro conductividad, y mientras más compactado estuvieran las partículas de grafito entre sí, mayor era el aumento de la energía y la iluminación. Como se muestra en la Fig. 5.

A pesar de que se desconocen las diferentes formas, o los distintos minerales capaces de proveer o conducir energía eléctrica, es necesario implementar nuevas formas de generar energía eléctrica la cual erradique en el país, no solo para el bienestar social y económico sino para crear conciencia en los jóvenes de innovar, y a su vez cuidar del medio ambiente.

Aunque existen muchas limitaciones de la creación del prototipo no es imposible, además prevenimos afectaciones del calentamiento global, las cuales hoy en día



Figura 5. Se muestra el dispositivo funcionando con grafito molido.

han generado un incremento al riesgo de contaminación en el mundo.

4. Conclusiones

Como bien se sabe las energías renovables son fuentes de energías limpias inagotables, a diferencia de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo que no es dañino para el medio ambiente.

Aunque se desconoce mucho del tema en el país, es bueno implementar una nueva forma de crear energía eléctrica, ya que dependemos de este día con día, además de que el crecimiento de las energías limpias es imparable y la demanda de la energía eléctrica ha aumentado drásticamente los últimos años en todo el mundo.

Se recomienda implementar el proyecto de una manera más eficiente en su diseño, incorporando celdas de grafito molido que estén compactas por presión, estando conectadas en serie a una batería podrán aumentar notoriamente la energía y la carga eléctrica de la batería.

Referencias

- [1] Pedro Chévez. *Energías renovables y eficiencia energética*. Editorial Nobuko, 2017.
- [2] Gissela Landa Rivera, Frédéric Reynès, Ivan Islas Cortes, François-Xavier Bellocq, y Fabio Grazi. Towards a low carbon growth in mexico: Is a double dividend possible? a dynamic general equilibrium assessment. *Energy Policy*, 96:314–327, 2016.
- [3] José César Lenin Navarro Chávez, Delfin Ortega, V Odette, y Atzimba Díaz Pulido. La eficiencia

del sector eléctrico en México 2008-2015. *Análisis económico*, 34(85):71-94, 2019.

- [4] José María Valenzuela y Isabel Studer. Climate change policy and power sector reform in Mexico under the golden age of gas. *The Political Economy of Clean Energy Transitions*, page 410, 2016.
- [5] Reyes Sanchez, Ariadna Itzel, et al. *Energy justice and the consolidated informal city: sustainability and energy use in Colonias Populares, Mexico City*. PhD thesis, 2018.
- [6] Servicio Geológico Mexicano. Anuario estadístico de la minería mexicana 2015. URL: http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/CapituloIV_2014.pdf [Stand: 13.08. 2014], 2016.
- [7] J Schallenberg, G Piernavieja, C Hernández, P Unamunzaga, R Garcia, M Díaz, D Cabrera, G Martel, J Pardilla, y V Subiela. Energías renovables y eficiencia energética. instituto tecnológico de canarias, sa, 2008.

Prototipo de un dado para estimulación en niños con parálisis cerebral

A. Ramirez-Treviño^{1,*}, F. Muñoz-Beltrán¹

¹Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, Jefatura de División de Ing. Electrónica, Carretera Internacional a Nogales Km. 2, CP. 85024, Cd. Obregón Sonora, México.

*e-mail: aramirez@itesca.edu.mx

Resumen: *La causa más común de discapacidad motora en niños es la parálisis cerebral. Por ello nace la motivación de construcción de un prototipo que ayude a la estimulación infantil por medio de la generación de efectos visuales y/o sonoros. Específicamente este prototipo en forma de dado muestra diferentes colores en sus caras que provocan en el niño la asociación de colores y sonidos con actividades determinadas por un especialista. El empleo de tecnología en la construcción de este tipo dispositivos, además de materiales de bajo costo, representan una gran ayuda en los tratamientos de parálisis cerebral infantil.*

Palabras clave: Parálisis Cerebral, Cubo, Prototipo, Estimulación.

Abstract: *Cerebral palsy is the most common cause of motor disability in children. Therefore, the motivation for the construction of a prototype that helps children's stimulation through the generation of visual and / or sound effects is created. Specifically, this cube-shaped prototype shows different colors on their faces that cause the child to associate colors and sounds with activities determined by a specialist. The use of technology in the construction of this type of devices, in addition to low cost materials, represents a great help in the treatment of cerebral palsy in children.*

Keywords: Cerebral Palsy, Cube, Prototype, Stimulation.

1. Introducción

Actualmente se considera a la Parálisis Cerebral (PC) como un conjunto de trastornos del desarrollo del movimiento y la postura, que caracterizan una agresión sobre el cerebro en desarrollo en la época fetal o en los primeros años. Además es relevante mencionar que es un problema de salud importante, que genera gran discapacidad en la infancia.

Por ello, como una herramienta coadyuvante en el tratamientos de la parálisis cerebral se crean espacios adecuados a estimular varios sentidos del ser humano, conocidos como “espacios multisensoriales”, los cuales se divide en varios rincones, cada uno enfocado a la estimulación de un sentido. De esta forma, se adquiere un conocimiento a través de un aprendizaje normal, sencillo y seguro para afianzar las habilidades de comunicación e interacción con el medio hasta lograr una integración e independencia [1].

La recepción y asimilación de estímulos externos tales como los olores, sabores, sonidos, colores y superficies

ayudan tanto al aprendizaje como a la ubicación espacio-temporal, por eso con esta población hay que agudizar los sentidos que no tienen ningún tipo de deficiencia [2].

Haciendo uso de las nuevas tecnologías, que se encuentran en constante evolución, se ha logrado generar prototipos que estimulen los diferentes sentidos en personas con parálisis cerebral infantil. La tecnología destinada a mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad, ya sea por compensación funcional o por rehabilitación, se denominan Tecnología de Apoyo (TA). Derivado de esto, la TA puede ser definida como un área de conocimiento multidisciplinar orientada a la concepción y desarrollo de productos, dispositivos, prototipos o equipamiento y servicios, empleados para mantener, incrementar o mejorar las capacidades funcionales de los individuos con discapacidad. Se trata de una disciplina en la que convergen efectivamente una serie de disciplinas, de carácter técnico como electrónica, robótica, informática, inteligencia artificial y nuevos materiales y de una serie de disciplinas pertenecientes a la rama humanista, como la medicina, psicología o

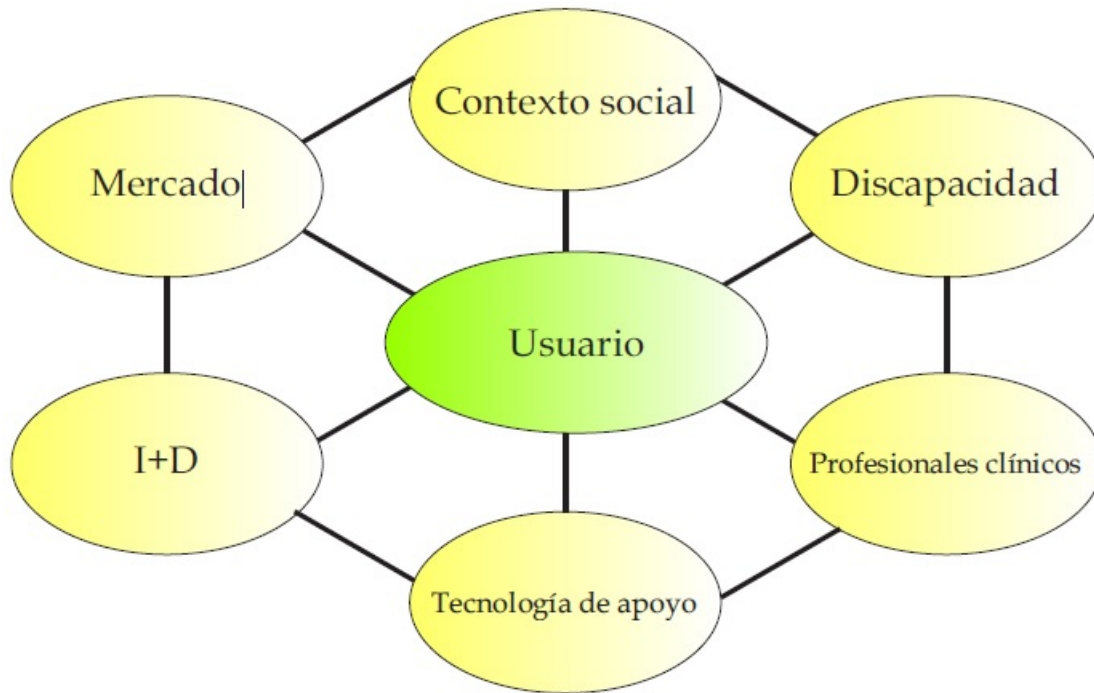


Figura 1. Agentes que interaccionan con la persona con discapacidad.

sociología entre otras [3]. La fusión de las ramas humanista y técnica se refleja en el concepto de interacción persona-máquina, ya que la persona es definida por las disciplinas humanitarias, mientras que las disciplinas científico-técnicas definen a la máquina [4,5].

En la Fig. 1 se muestra los distintos agentes que interaccionan con la persona con discapacidad. En el centro de un nuevo diseño de cualquier prototipo de apoyo ha de estar el usuario. Conocer sus necesidades reales es una información esencial antes de abordar la concepción de una nueva tecnología. Su participación iterativa, desde la concepción hasta su creación y explotación, resulta fundamental para alcanzar el éxito del prototipo. Dichas necesidades vendrán dadas en su mayor parte por las características particulares de la discapacidad, la cual determinará las limitaciones consecuentes y cómo han de ser resueltas por la tecnología [3].

2. Materiales para la construcción del prototipo

Por ser un prototipo, el dispositivo será construido de material ligero y resistente para que pueda ser manipulado por un niño con una edad entre dos a cinco años.

Debe tener un tamaño que sea fácil de sujetar en este caso con los dos brazos, ya que la estimulación que se

obtendrá es de movimientos gruesos.

2.1. Determinación del material para construir el prototipo

Existen varios materiales en el mercado con la característica de ligereza como los aglomerados tales como el triplay o el MDF; además materiales como el foamboard, acrílico o cartón, considerando que el prototipo deberá soportar golpes y tener un bajo costo. Debido a la naturaleza de su uso, el prototipo podrá dañarse por lo que se decidió por un material con cierta flexibilidad que le ayude a soportar los golpes pero además pueda construirse una estructura rígida. También se decidió utilizar el papel foamboard, ya que es un material usado en la construcción de maquetas pero con mucha resistencia, absorbente de golpes, que comparando con la madera no absorbe la humedad y evita la generación de microorganismos.

El costo de este material es similar al de los aglomerados, sin embargo es más fácil de manipular, pues tiene un menor peso y las herramientas necesarias para su manejo básicamente son pegamento y una navaja tipo cúter.

Esto permitirá a cualquier persona aún sin experiencia en el manejo del material la construcción del dado, o si se llega a destruir, poder reemplazarlo fácilmente con un

bajo costo.

El bajo costo y la facilidad de construcción es uno de los parámetros más importantes en el diseño de objetos para estimulación de pacientes con PCI o autismo. Por otra parte, para colorear los lados del cubo, puede emplearse pintura o un forro, en este caso para no humedecer el foamboard se decidió forrar cada lado con papel foamy de colores, esto además le da suavidad a las caras lo que será una sensación estimulante al tacto del paciente.

3. Construcción

El dado es un cubo de 30 cm por lado, forrado de foamy de tres colores: verde, rojo y amarillo, cada lado del cubo se sujeta al otro a través de tornillos y se cubren los lados con cinta ahulada negra, considerando uno lado de ellos como tapa. El armado final del prototipo se muestra en la Fig. 2.

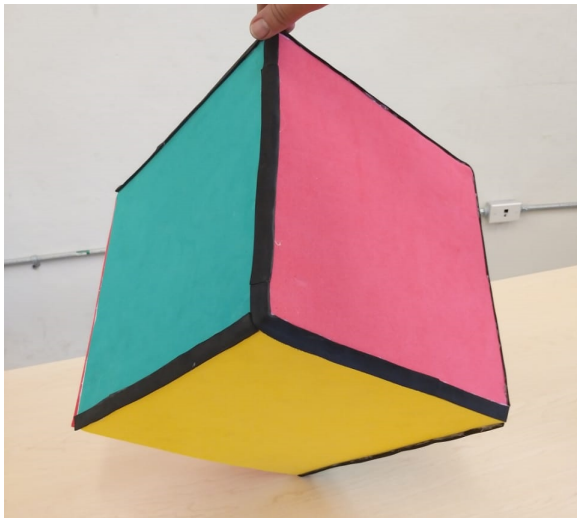


Figura 2. Prototipo armado, apariencia externa.

El interior del cubo es hueco lo que permite incluir en su interior, circuitería que no sea muy pesada y que permita sentir la cara que muestra en la parte superior del dado, y proporcionar un estímulo auditivo o visual en función del color que muestre el prototipo en su parte superior.

3.1. Determinación del lado en la parte superior del dado

Se consideraron varios sensores para determinar la posición del objeto e incluso diseñar algún sistema que realizará la función.

Uno de los sensores más difundidos en la actualidad son los acelerómetros, tiene un costo aproximado de 150

a 250 pesos, lo que permite su uso en este tipo de proyectos, sin embargo; al ser un prototipo que estará sujeto a movimientos y giros, el acelerómetro no queda necesariamente en una posición final definida; razón por la cual no proporcionó un valor constante de voltaje en su salida que permitiera establecer una relación con la cara que el dado mostraba en la parte superior.

Existe un tipo de sensor de inclinación, que consiste básicamente de tubos con un pequeño balón o gota de mercurio que unen dos terminales eléctricas, el mercurio es tóxico por lo que solo se considerará el sensor de inclinación por balón, sin embargo, al probarlo no hace buen contacto, o produce señales con rebotes eléctricos.

Finalmente se decidió utilizar la idea del contacto por balón pero diseñar un recipiente especial aprovechando el espacio que proporciona el dado. Fue necesario imprimir una pieza en 3D, la cual es un cubo orientado de manera perpendicular a las caras del dado. De este modo con cada giro el balón cae en alguna esquina del cubo interior y es posible conocer la cara superior exterior que muestra el dado. El funcionamiento está basado en iluminar o no una fotorresistencia, cada vez que el balón cae en una esquina, no permite que la luz llegue al sensor resistivo, esto se aprovecha para producir una variación de potencial que será enviado a un microcontrolador Arduino, donde se programará el estímulo auditivo, el cual consiste de las notas de Do a La de la quinta octava. El sensor de muestra en la Fig. 3.

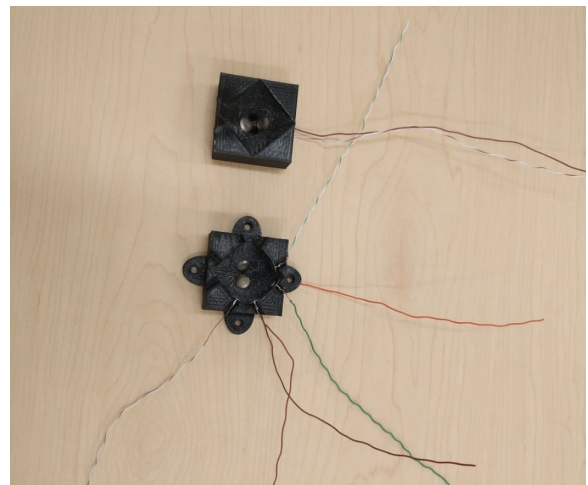


Figura 3. Sensor diseñado.

Al determinar la cara externa superior que muestra el dado, es posible construir un sistema de estimulación sencillo que produzca diferentes tonos dependiendo de la cara que muestre el dado en su parte superior o se ilumine de diferente color.

Para generar un sistema más sofisticado de

estimulación, la placa Arduino dentro del dado podrá a través de un transmisor BlueTooth enviar al exterior la información de la cara que muestre el dado para activar algún otro dispositivo de estimulación.

Por otra parte, el generador de estímulo auditivo y el sistema que determina la cara superior del dado, está basado en una placa Arduino Uno, Fig. 4.

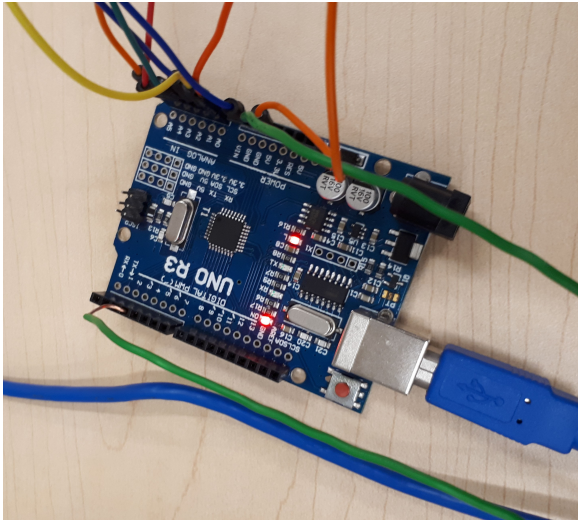


Figura 4. Placa Arduino.

El programa lee el valor de cada una de las entradas analógicas y lo compara con un valor establecido por el diseñador para que en caso de que la entrada sea superior a éste, se reproducirá un tono correspondiente a una de las notas musicales.

4. Pruebas de funcionamiento

Se realizaron diferentes pruebas a los sensores, simulando varias condiciones a las cuales se puede exponer el prototipo, para detectar posibles fallas en su funcionamiento.

Por ejemplo, cuando el programa lee el valor de seis entradas analógicas (Fig. 5), cada una recibe un voltaje de un divisor de tensión formado por una resistencia de 10 KOhms y la fotoresistencia usada como sensor del lado superior del dado, dependiendo de la iluminación que incide sobre la fotoresistencia el valor digital que muestra Arduino por cada una de las entradas analógicas va de los 300mV cuando el sensor recibe luz a los 700mV en oscuridad. Por lo anterior se desarrolló un ciclo en el que se lee cada una de las entradas y se verifica si el valor es mayor a 500mV, en este caso se reproduce un tono a través de un buzzer con duración de un segundo.

Una vez comprobado el funcionamiento del circuito se realizó el ensamblado del dado y el sistema de sensado

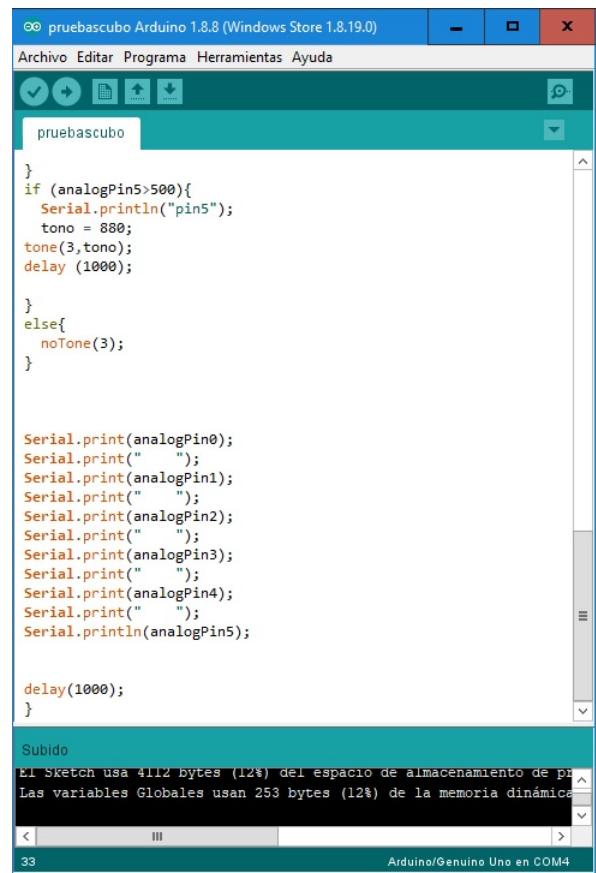


Figura 5. Ventana de programación de Arduino.

y generador de estímulo, se colocaron las fotoresistencias dentro del sensor y se verificaron los valores que se obtenían en caso de necesitarse algún ajuste. Como el dado no está expuesto a la luz se decidió iluminar el interior del sensor con un Led, de este modo las fotoresistencias mantuvieron el funcionamiento descrito.

5. Conclusiones y recomendaciones

Las ayudas para la estimulación sensorial en pacientes de PCI o en algún grado del espectro autista, son en ocasiones dispositivos muy sencillos, a pesar de esto existen pocos productos fabricados en el país y la gran mayoría no incluye algún tipo de tecnología, cuando esto ocurre los dispositivos se encarecen ya que la mayoría son importados. Con la llegada al mercado de dispositivos microcontroladores de bajo costo, se pueden convertir los juguetes usados para la estimulación en dispositivos con mayor versatilidad, el uso de la impresión 3D permite la fabricación de elementos ad-hoc con las que se puede mejorar la apariencia y sistemas de sujeción de las ayudas

que se construyan.

La tecnología disponible como las placas con microcontroladores tienen una capacidad sobrada para realizar la función que el terapeuta necesite, además es de bajo costo por lo que para un mayor equipamiento en las áreas de salud dedicadas a la terapia de niños con PCI o autismo, depende en gran parte de la interlocución de los especialistas del área clínica con el área de ingeniería.

Referencias

- [1] Flag House Sensory Solutions. The new home of snoezelen multi-sensory environments. 2006.
- [2] Anna Jean Ayres. La integración sensorial y el niño. *Sevilla: Madrid*, 2006.
- [3] James A Lenker y Victor L Paquet. A review of conceptual models for assistive technology outcomes research and practice. *Assistive Technology*, 15(1):1–15, 2003.
- [4] Karen Preston. Assistive technologies: Principles and practice. *Rehabilitation Nursing*, 28(2):64, 2003.
- [5] HS Cook Albert y M Hussey Susan. Assistive technologies: Principles and practice, 2001.

Diseño y modelado de un sistema para rehabilitación de la marcha en niños con parálisis cerebral

P.B. Orozco-Casillas¹, J.E. Palomares-Ruiz^{1,*}, L. Rodríguez-Contreras², J.G. Castro-Lugo¹

¹Maestría en ingeniería mecatrónica, Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, Carretera Internacional a Nogales Km. 2, CP. 85024, Cd. Obregón Sonora, México.

²Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, Jefatura de División de Ing. en Sistemas Computacionales, Carretera Internacional a Nogales Km. 2, CP. 85024, Cd. Obregón Sonora, México.

*e-mail: jepalomares@itesca.edu.mx

Resumen: *El cuerpo humano es un sistema que presenta complejas estrategias de control que le permiten realizar una infinidad de movimientos, como es el caso de las extremidades inferiores las cuales son los elementos primordiales encargados del caminar. La marcha bípeda es una actividad física que ayuda a realizar la mayor parte de las actividades cotidianas, sin embargo, muchas veces el control de estos movimientos se ve afectado por enfermedades y/o accidentes limitando la capacidad de caminar o muchas veces eliminándola.*

La finalidad de este proyecto es desarrollar un análisis de la marcha humana para ser implementado en un sistema de rehabilitación en infantes con Parálisis Cerebral. El sistema consiste en un exoesqueleto que se adapta a las piernas del paciente y permite recrear los movimientos de la marcha para que así el paciente pueda practicarlos y aprenderlos.

Palabras clave: Parálisis Cerebral, Cinemática, Rehabilitación, Estimulación.

Abstract: *The human body is a system that presents complex control strategies that allow it to perform an infinite number of movements, as is the case of movement of the lower limbs to walk. Bipedal walking is a physics activity that helps us to perform most of daily activities, however, many times the control these movements is affected by diseases and/or accidents limiting the ability to walk or often eliminating it.*

The purpose of this project is to develop a analysis of the human gait to be implement in a rehabilitation system in infants with cerebral palsy. the system consist in a endoskeleton that adapts to the patient's legs and recreates the movement to the gait so that the patient can practice and learn them.

Keywords: Cerebral Palsy, Kinematics, Rehabilitation, Stimulation.

1. Introducción

El cuerpo humano en su totalidad es un sistema que presenta muy diversas y sofisticadas estrategias de control las cuales le permiten realizar una gran cantidad de movimientos y complementar tareas básicas que, en la mayor parte de los casos, poseen un elevado grado de complejidad.

Es por esto que el combinar este sistema con la fuerza que brinda un sistema robótico u mecánico del tipo cadena cinemática abierta, puede brindar soluciones innovadoras a problemas complejos. Actualmente, se ha comprobado que el uso de plataformas robóticas como apoyo en el proceso de rehabilitación física trae resultados sumamente favorables y en menor tiempo que la terapia

asistida manualmente [1–3]. En México solo un pequeño porcentaje de los centros de terapia y rehabilitación cuentan con estos sistemas, lo que vuelve la rehabilitación poco accesible para la mayoría de las personas [4].

La principal causa de discapacidad infantil a nivel mundial es la parálisis cerebral. La incidencia prevalece estable en los últimos años presentándose en promedio en un 2.5 de los niños por cada 1,000 nacidos vivos. Sin embargo, en México, los reportes de la Secretaria de Salud Publica indican que entre el año 1998 y 2000, muestran una incidencia de 3 niños por cada 1,000 niños nacidos vivos [5].

Este proyecto de tesis consiste en desarrollar un sistema mecatrónico para la rehabilitación de la marcha humana, centrado en infantes que no pueden caminar

correctamente por causa de la parálisis cerebral. El sistema básicamente dirigirá las piernas del paciente para que pueda recrear la forma correcta en que debe caminar y, combinado con un entrenamiento continuo, normalizarla. Esto se lleva a cabo a partir de un dispositivo que se adapta a las extremidades inferiores, el cual realiza el proceso de control en función de cada una de las variables tomadas y, a partir de ahí, simular los movimientos de la marcha correcta.

2. Antecedentes

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define en 1958 a la fisioterapia como: “la ciencia del tratamiento” a través de: medios físicos, ejercicio terapéutico, masoterapia y electroterapia. La parte de la fisioterapia que se encarga de la terapia ejecutada a través de ejercicios físicos o métodos mecánicos se le denomina mecanoterapia; la cual se realiza por medio de maniobras específicas realizadas por un terapeuta, o con ayuda de aparatos e instalaciones especiales.

El desarrollo de plataformas robóticas con aplicación en rehabilitación se remonta a los años 1960 y 1970 con los sistemas exoesqueléticos realizados por la Universidad de Belgrado; estos sistemas estaban orientados para brindar movilidad a pacientes parapléjicos de acuerdo a trayectorias predefinidas computacionalmente, suprimiendo completamente la influencia del ser humano [3, 6, 7].

Actualmente los exoesqueletos más relevantes para ayuda de discapacitados son el HAL, desarrollado en la Universidad de Tsukuba (Japón) por el Prof. Sankai y su empresa Cyberdine para personas con debilidad muscular o para amplificación de fuerza en trabajo de carga, cuyo funcionamiento se fundamenta en la traducción de señales mioeléctricas superficiales (s-EMG) en torque motor de acuerdo a una ganancia de asistencia deseada [8]; ReWalk, desarrollado en Israel por la empresa Argo Medical Technologies destinado para personas parapléjicas, el cual funciona en base a trayectorias seleccionables que están pregrabadas en la unidad de control [9, 10].

Lokomat y LOPES, son plataformas estáticas de terapia para pacientes con lesión medular que proponen métodos de control adaptativo para minimizar las fuerzas entre humano y máquina con un patrón de seguimiento de trayectorias parametrizable y control de impedancias basado en actuadores serie elásticos [11].

A pesar de los grandes avances tecnológicos que se tienen en cuanto a plataformas robóticas para

rehabilitación, la forma más usada sigue siendo la terapia asistida manualmente, esto debido a que la mayoría de estos dispositivos son de un costo muy elevado, lo cual hace que solo una pequeña parte de los centros de rehabilitación y terapia tengan acceso a ellos.

El Centro de atención al menor (CAME) de Obregón, no cuenta con equipo de alta tecnología para brindar terapia dado que los equipos que existen en la actualidad tienen un costo muy elevado; sin embargo, tienen una alta demanda de pacientes con necesidad de terapia en sus extremidades inferiores, por lo cual se vio en la necesidad de solicitar el apoyo de ITESCA a través de la maestría en ingeniería mecatrónica, con la finalidad de desarrollar un sistema de este tipo, el cual pueda brindar terapia en las extremidades inferiores pero con un menor costo, que los dispositivos comerciales.

3. Desarrollo

El objetivo de esta investigación consiste en diseñar un sistema que asista de manera automática a la terapia física infantil, orientado en normalizar el movimiento de las extremidades inferiores durante la marcha en niños con parálisis cerebral; por lo que se busca implementar un sistema mecatrónico en forma de un exoesqueleto que permita recrear los movimientos del cuerpo humano al caminar y que se pueda adaptar a distintos parámetros dependiendo del paciente.

Este deberá poseer un sistema de control auto adaptable para que el terapeuta pueda manejar el sistema de manera sencilla e intuitiva y además adaptar los parámetros de control según las necesidades de cada uno de los pacientes con facilidad. Además de lo anterior, el dispositivo tiene que ser de bajo costo para que pueda ser accesible para la mayoría de las personas que lo requieran.

La metodología que se desarrolló para el diseño del mecanismo es la siguiente:

- Desarrollar el modelo cinemático para determinar los movimientos que se presentan en la marcha humana.
- Obtener las ecuaciones matemáticas del sistema.
- Crear la simulación del sistema en el Software Wolfram Mathematica.
- Diseño del prototipo mecánico.
- Construcción del prototipo.

Por lo que en esta sección se explicará de forma detallada todo el proceso que condujo a la realización

del prototipo. Hay que destacar que se realizaron dos diseños en SolidWorks: uno del prototipo completo y el segundo de un modelo a escala 1:3 donde se omitieron varias piezas. Es este último es el que se fabricó, con ayuda de una impresora 3D, con la finalidad de realizar pruebas de trayectoria. En este capítulo también se incluyen los cálculos matemáticos necesarios para el correcto diseño y la manera en que se uso Wolfram Mathematica para el desarrollo del modelo matemático de la marcha humana a partir de la información obtenida.

3.1. Modelo matemático

Para determinar el modelo matemático del sistema se tomaron los datos del estudio cinemático de la marcha humana el cual se mostró previamente en el capítulo 2. Todos los procesos de modelado, solución de ecuaciones y representación gráfica se realizaron en el software Wolfram Mathematica.

Inicialmente se requiere definir un tensor de rotación que preserve el cuerpo rígido por lo cual se determinó elegir la matriz de rotación homogénea en el eje z , la cual se define a continuación:

$$R = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Uno de los principales requerimientos del dispositivo es que posteriormente pueda adaptarse a las distintas medidas de las extremidades inferiores de los infantes que soliciten terapia, motivo por lo cual, se tuvieron que crear relaciones de las medidas entre las variables, tomando como la variable principal la altura del paciente. las variables definidas se enlistan a continuación:

- H = Altura del paciente.
- $x_1 = 0.246 \times H$ (Longitud del peroné).
- $x_2 = 0.245 \times H$ (Longitud del femur).
- $L = x_1 + x_2$ (Longitud total de la pierna).
- $A_1 = -L + 0.002$
- $A_2 = A_1 + (H \times 0.09)$
- $LP = L \times 0.26$
- $Ap = L \times 0.09$

Una vez definidas adecuadamente las variables requeridas, se obtienen las ecuaciones matriciales de posición, velocidad y aceleración, el desarrollo de las mismas se muestra de manera detallada a continuación.

Ya que el mecanismo se constituye de dos partes fundamentales, inicialmente se construye R_1 que es la matriz que representa el movimiento del peroné y R_2 que es la matriz que representa el movimiento angular del femur:

$$R_1 = \begin{pmatrix} \cos\theta_1 & -\sin\theta_1 & 0 \\ \sin\theta_1 & \cos\theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

La matriz de posición, se define como la suma de $R_1 + R_2$. La cual se nombra como (Pos1):

$$Pos1 = \begin{pmatrix} x_1 \cos\theta_1 + x_2 \cos\theta_2 \\ x_1 \sin\theta_1 + x_2 \sin\theta_2 \\ d \end{pmatrix}$$

Para imitar el proceso de la marcha humana se procedió a construir de forma paramétrica una ecuación de trayectoria, a la cual se nombró (cam). A continuación se muestra el planteamiento de las etapas de dicha ecuación:

$$\text{Cam}(i) := \{LP - LP \cos(i^\circ), A_2 + Ap \sin(i^\circ), 0\};$$

$$\text{CamReg}(i) := \{LP - LP \cos(i^\circ), A_2 + Ap \sin(i^\circ), 0\};$$

$$\text{Reg}(i) := \left\{ L - \frac{iL}{360}, A_2, 0 \right\};$$

Ya definidas las ecuaciones y matrices necesarias, se procede a obtener una aproximación inicial de la solución por lo cual se utilizará el método numérico del Jacobiano para dar solución al problema cinemático inverso en la forma:

```

 $\theta_{1i} = \theta_1 / . \text{SolIni}[[2]]; \theta_{2i} = \theta_2 / . \text{SolIni}[[2]];
\text{Quiet}[\text{For}[i = 0, i \leq 360, i += 1,
\text{If}[i \leq 180, \text{SolPos}(i) = \text{FindRoot}[\{\text{Pos1} =
\text{Cam}(i)\}, \{\theta_1, \theta_{1i}\}, \{\theta_2, \theta_{2i}\}, \{d, 0\},
\text{MaxIterations} \rightarrow 30];,
\text{SolPos}(i) = \text{FindRoot}[\{\text{Pos1} =
\text{CamReg}(i)\}, \{\theta_1, \theta_{1i}\}, \{\theta_2, \theta_{2i}\}, \{d, 0\},
\text{MaxIterations} \rightarrow 30]]]]
\text{Quiet}[\text{For}[i = 360, i \leq 720, i += 1,$ 
```



```

Manipulate[Graphics3D[{{Sphere[{LP, 0, 0}, 0.045], Tube[{{LP, 0, 0}, R1[01 /. SolPos[i][1]], {.04, 0.025}},
|manipula |gráfico 3D |esfera |tubo
Sphere[R1[01 /. SolPos[i][1]], 0.03], Tube[{R1[01 /. SolPos[i][1]}, R1[01 /. SolPos[i][1]] + R2[02 /. SolPos[i][2]]},
|esfera |tubo
{.025, 0.02}}, Sphere[R1[01 /. SolPos[i][1]] + R2[02 /. SolPos[i][2]], 0.025],
|esfera
Tube[{R1[01 /. SolPos[i][1]] + R2[02 /. SolPos[i][2]], R1[01 /. SolPos[i][1]] + R2[02 /. SolPos[i][2]] + {0.1, -0.03, 0}},
|tubo
{.025, 0.02}}, Sphere[{LP, 0, -0.2}, 0.045],
|esfera
Tube[{{LP, 0, -0.2}, R1[01 /. SolPos[i + 180][1]] - {0, 0, 0.2}}, {.04, 0.025}},
|tubo
Sphere[R1[01 /. SolPos[i + 180][1]] - {0, 0, 0.2}, 0.03],
|esfera
Tube[{R1[01 /. SolPos[i + 180][1]] + R2[02 /. SolPos[i + 180][2]] - {0, 0, 0.2}},
|tubo
R1[01 /. SolPos[i + 180][1]] + R2[02 /. SolPos[i + 180][2]] + {0.1, -0.03, 0} - {0, 0, 0.2}}, {.025, 0.02}},
Tube[{R1[01 /. SolPos[i + 180][1]] - {0, 0, 0.2}, R1[01 /. SolPos[i + 180][1]] + R2[02 /. SolPos[i + 180][2]] - {0, 0, 0.2}},
|tubo
{.025, 0.02}}, Black, Cylinder[{{LP, 0, 0}, {LP, 0, -0.2}}, 0.015}},
|negro |cilindro
PlotRange -> {{-0.2, 0.8}, {0.2, -1}, {0.2, -0.3}}, {i, 0, 360, 1}]
|rango de representación

```

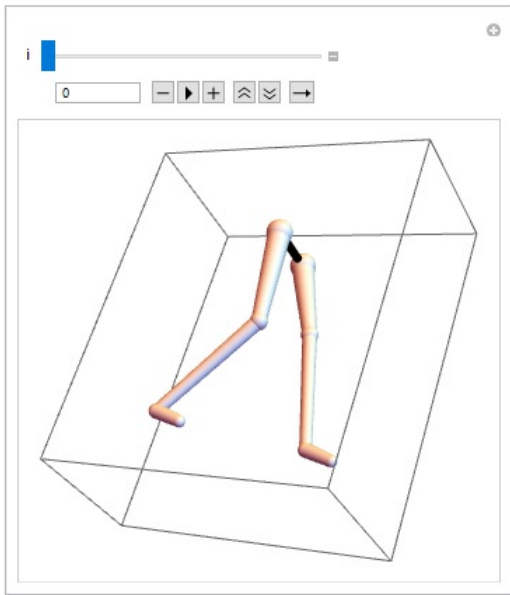


Figura 1. Código que genera la simulación de la marcha humana en Wolfram Mathematica.

```

If[i ≤ 540, SolPos(i) = FindRoot[{Pos1 =
Cam(i)}, {01, 01i}, {02, 02i}, {d, 0},
MaxIterations -> 30];,
SolPos(i) = FindRoot[{Pos1 =
CamReg(i)}, {01, 01i}, {02, 02i}, {d, 0}, MaxIterations ->
30]]]

```

este código se escribió en el software Wolfram Mathematica, utilizando el comando FindRoot el cual utiliza el método del Jacobiano de forma implícita, después de esto se realizó una simulación de la marcha, la cual se muestra en la Fig. 1.

Así mismo en la Fig. 2 se muestra una serie de imágenes que muestran el proceso de la marcha humana, con la finalidad de establecer motivos de comparación.



Figura 2. Simulación de la marcha humana en Wolfram Mathematica.

La simulación nos permite conocer los ángulos del peroné y del fémur en cada momento, datos necesarios para la realización del programa que activará los motores.

Para efectos de control, se establecieron 360 instantes, lo cual indica que toda la trayectoria de la marcha se dividió en 360 grados y se obtuvieron 360 ángulos de posición tanto para el peroné como para el fémur.

Así mismo se realizó una representación gráfica del movimiento de los motores para analizar que el mismo se realice de forma suave y continua. Lo cual permitirá un proceso de rehabilitación conforme a lo requerido por los especialistas.

Inicialmente se muestra una representación gráfica de los valores del ángulo de la cadera en la Fig. 3

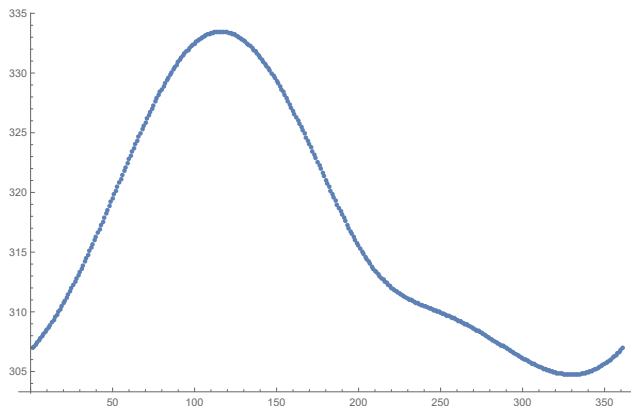


Figura 3. Gráfica del ángulo de la cadera.

De igual manera se observa un comportamiento continuo y suave para el motor que realizará el desplazamiento del motor que accionará la rodilla, esto se muestra en la Fig. 4.

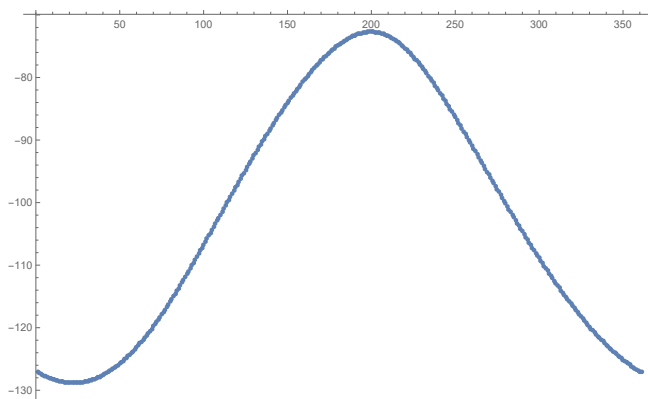


Figura 4. Gráfica del comportamiento de rodilla.

Estos datos se agruparon en una tabla en Excel para poder pasarlos al software donde se realizará la programación de los motores.

3.2. Diseño

Para dibujar la geometría del prototipo se utilizó el Software SolidWorks; para ello se tomaron en cuenta dispositivos similares que ya existían en el mercado y se adaptaron a los requerimientos y necesidades de este proyecto. Los requerimientos del proyecto se enlistan a continuación:

- Pacientes con parálisis cerebral
- Peso del paciente: 50kg max.
- Altura del paciente: 1.50 metros
- Bajo costo
- Fácil de transportar

En base a los requerimientos se diseñó en SolidWorks una propuesta de máquina de rehabilitación, el dibujo se muestra en la Fig. 5. El diseño solo incluye la parte mecánica del dispositivo: la caminadora, el exoesqueleto (mecanismo de trayectoria), el soporte y el mecanismo de ajuste. La parte eléctrica y de control no se diseñó para este prototipo inicial.

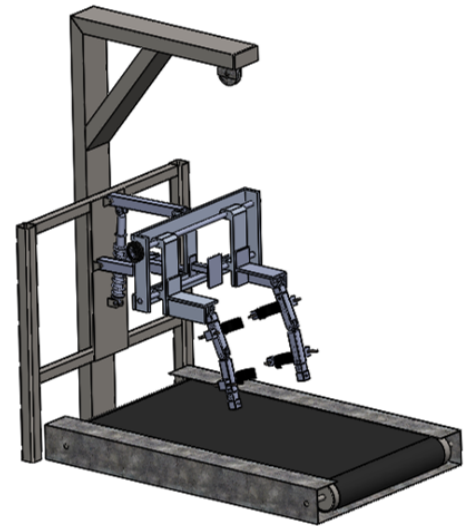


Figura 5. Diseño en SolidWorks.

Tomando como base el diseño anterior se diseñó un modelo a escala 1:3 para hacer pruebas; este modelo solo contempla las partes más relevantes del dispositivo: las partes móviles del exoesqueleto.

Se descartaron el resto de las piezas ya que la importancia del dispositivo es realizar correctamente la trayectoria de la marcha, por lo cual es en esto donde se requiere hacer pruebas. El dibujo del modelo se muestra en la Fig. 6.

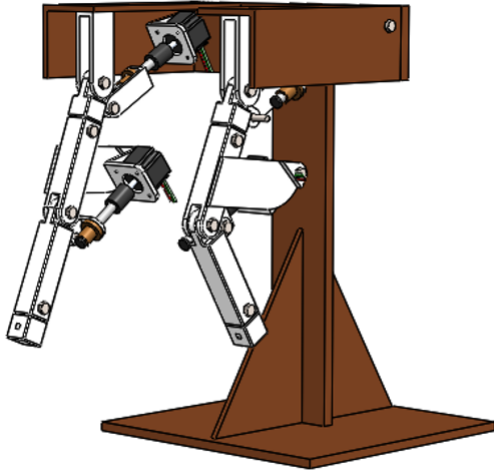


Figura 6. Diseño en SolidWorks del modelo a escala 1:3.

El diseño del modelo cuenta con una base (pieza café) donde se monta el mecanismo de trayectoria. Las piezas pueden ajustarse en cuanto a longitud, al igual que lo hará el dispositivo rehabilitador, como ya se mencionó, para adaptarse a las diferentes medidas de los pacientes. En la figura también se observan motores a pasos, que fueron necesarios agregarlos en el Software para poder calcular el movimiento del mecanismo.

3.2.1. Mecanismo de los motores

El modelo a escala consta de dos mecanismos similares, los cuales son del mismo tipo pero varían en cuanto a la relación de las medidas. Según la cinemática de la marcha, el eslabón de la cadera (desde ahora eslabón C) debe moverse en un rango de -30° a 30° con respecto a la vertical; mientras que el eslabón de la rodilla (desde ahora eslabón R) debe moverse en un rango de -65° a 0° con respecto a la vertical también. Se decidió agregar un margen de error para poder realizar las pruebas con más libertad. Los rangos modificados se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Rango de movimiento del mecanismo.

Eslabón	Rango(grados)
C	-35 a 35
R	-70 a 0

La primera idea para añadir los motores en el dispositivo fue colocarlos directamente al eje de giro de los

eslabones, sin embargo, al hacerlo así carecía de precisión y aumentaba mucho las dimensiones del modelo. Por lo cual, la opción ideal fue crear un mecanismo que eliminara esos detalles.

El mecanismo que se seleccionó fue uno del tipo corredera-balancín, el cual consta de un husillo acoplado al motor, el cual transformará el movimiento circular del motor, en movimiento lineal. La tuerca del husillo se acopla al eslabón, el cual se mueve según su eje de giro. El mismo mecanismo se usó para el motor de la cadera y para el motor de la rodilla, solo variando las medidas de los eslabones y los ángulos de los mismos. El diagrama del mecanismo de la cadera se presenta en la Fig. 7 y el diagrama del mecanismo de la rodilla en la Fig. 8.

En las figuras 7 y 8 la línea marcada con gris representa el soporte (eslabón fijo), la línea azul es el balancín y la línea roja representa la corredera.

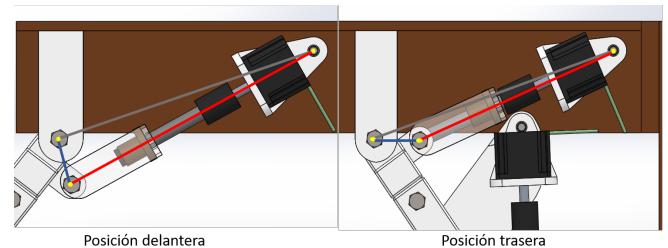


Figura 7. Diagrama del mecanismo de la cadera.

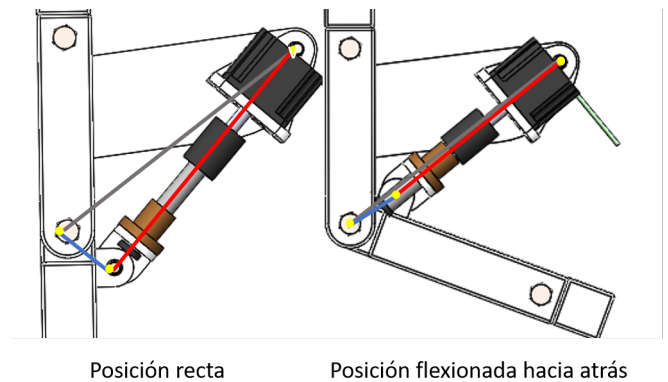


Figura 8. Diagrama del mecanismo de la rodilla.

3.3. Construcción del modelo

En esta sección se explicará cómo se llevó a cabo la construcción del modelo de mostrado en la Fig. 6. Para ello, primero se consiguieron los materiales y equipos necesarios; estos se enlistan a continuación:

- Base de madera.

- Impresora 3D.
- Filamento blanco para Impresora 1.75mm.
- 4 Motores a pasos.
- 4 husillos con sus respectivas tuercas.
- 4 Coples para motor a pasos.
- Tuercas y tornillos pasados para el ensamble.
- Pegamento super gluee.
- Cables eléctricos.
- Lija.

Ya teniendo todos los materiales se prosigue con la construcción. La secuencia de pasos que se siguieron en la elaboración son los siguientes:

1.- Base.

Se realizó el diseño del plano que conformaría la base, misma que servirá como apoyo para el prototipo, esta se desarrolló en el software SolidWorks, y después se le proporcionaron los planos a un carpintero para que la construyera.

2.- Impresión.

Como se cuenta con una impresora 3D y con material de impresión, se decidió que las piezas del mecanismo fuesen impresas en 3D, motivo por lo cual, todos los archivos de diseño se convirtieron del formato base de SolidWorks al requerido por la impresora (formato STL). Se configuraron las piezas para que resultara una impresión eficiente, posteriormente se transfirieron los archivos a la impresora y se inició el proceso de impresión.

3.- Armado de piezas impresas.

Una vez que se contó con todas las piezas impresas se prosiguió a ensamblar los eslabones del mecanismo. Dado la complejidad de algunas piezas, imprimirlas completas requería mucha precisión en la impresión, por lo cual se optó por imprimirlas por partes y posteriormente pegarlas con pegamento super gluee. Se armaron los dos mecanismos (2 piernas) y se atornillaron a la base de madera.

4.- Husillos.

Comercialmente los husillos tienen una medida estandar, por lo cual, se tuvieron que cortar según las longitudes resultante del cálculo del mecanismo de los motores.

5.- Armado de mecanismo de motores.

Se atornillaron los motores a pasos en sus respectivas bases impresas, se colocó el cople y se acopló el husillo. Por último la tuerca de cada husillo se atornilló en su respectiva base. En la Fig. 9 se muestran los mecanismos de la cadera y de la rodilla ya ensamblados con cada una de sus respectivas piezas y se encuentra señalado el nombre de cada parte.

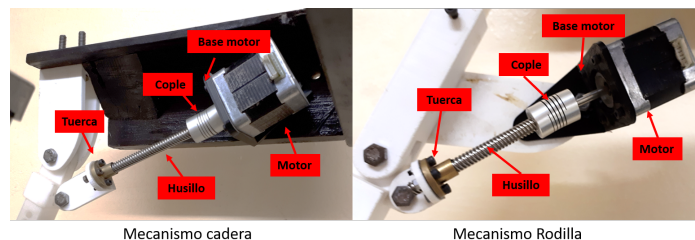


Figura 9. fotografía de los mecanismos

6.- Armado general.

Al momento de ensamblar todo el modelo y querer probarlo, se observó el problema de que el movimiento requerido no se estaba ejecutando, ya que el rango de movimiento había quedado restringido.

7.- Detección de errores.

El primer error que se detectó fue que los motores eran más largos de lo considerado en el diseño, por lo que topaban con la base de madera y no dejaban que el mecanismo se moviera de acuerdo al rango requerido. Por consiguiente la solución que se tomó fue cortar la parte de la base de madera donde topaba el motor, y así no restringir el movimiento por tope físico.

8.- Corrección.

Una vez corregido el error se siguió con el armado y se corroboró que en esta ocasión si se cumpliera con el movimiento requerido de forma predeterminada.

9.- Dispositivos electrónicos

Una vez terminado de ensamblar las partes mecánicas se prosiguió con los dispositivos eléctricos; no se habían contemplado todos al momento del diseño por lo cual se tuvieron que hacer algunas adecuaciones para poder instalarlo

En la Fig. 10 se muestran el prototipo completo con todas sus partes, faltandole solamente cableado y dispositivos electricos. Se encuentran señaladas las partes principales.

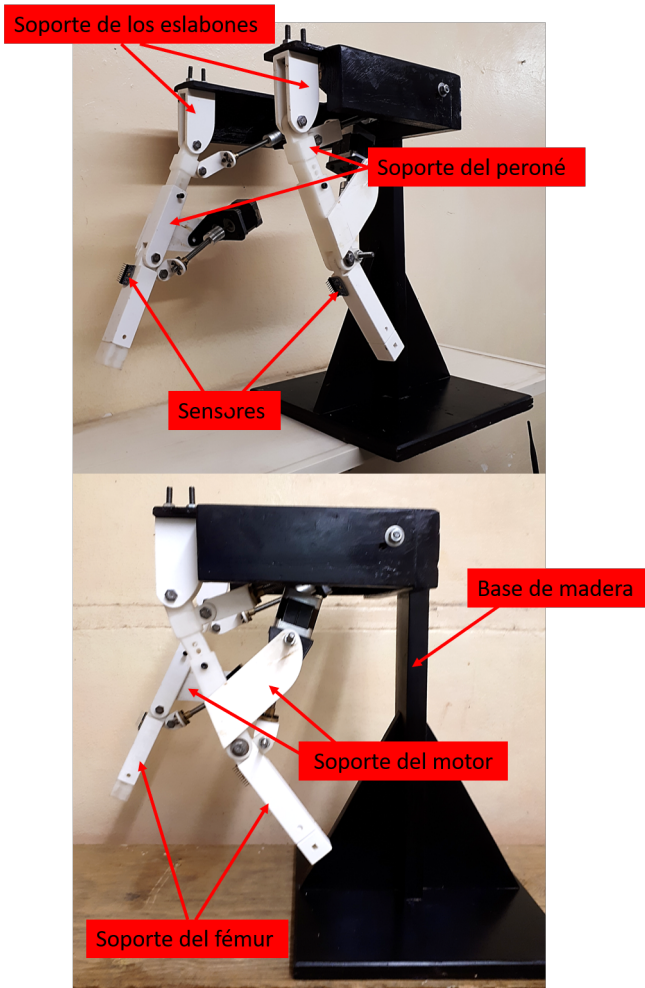


Figura 10. Prototipo construido

4. Conclusiones

Se realizó un análisis del proceso de la marcha humana, realizando una consulta bibliográfica, además de llevar a cabo observaciones de la marcha en situaciones de marcha normal y asistiendo a diversas terapias de rehabilitación, con lo cual se logró recrear dicho proceso utilizando modelos matemáticos y métodos numéricos para su solución.

El programa que se desarrolló fue elaborado en el software Wolfram Mathematica y a partir de este modelo matemático es de donde se obtuvo una simulación adecuada de la marcha humana para el proceso de rehabilitación, logrando comprobar la pertinencia de los modelos matemáticos establecidos.

Después se construyó un modelo a razón de una escala 1:3, el cual fue fabricado en su mayoría utilizando tecnologías de impresión 3D; el modelo fue construido esencialmente con la finalidad de poder realizar pruebas de trayectoria, y poder validar el proceso de modelación y

elaborar un prototipo de pruebas de control, mismas que no se lograron hacer en su totalidad, por problemas con el desarrollo de la etapa de control.

Inicialmente, el modelo presentó problemas de diseño, ya que no se contemplaron las tolerancias adecuadas al momento de diseñar las piezas. Lo cual nos llevó a rediseñar y volver a imprimir algunas partes.

El proyecto realizado se considera como interdisciplinario, lo que quiere decir que se trabajó en colaboración con otras personas para su realización. La implementación se retrasó debido a que se presentaron problemas en la etapa de control y no fueron resueltos a tiempo, por lo que no se presenta en este trabajo de investigación.

Referencias

- [1] Wei Meng, Quan Liu, Zude Zhou, Qingsong Ai, Bo Sheng, y Shengquan Shane Xie. Recent development of mechanisms and control strategies for robot-assisted lower limb rehabilitation. *Mechatronics*, 31:132–145, 2015.
- [2] Junpeng Wu, Jinwu Gao, Rong Song, Rihui Li, Yaning Li, y Lelun Jiang. The design and control of a 3dof lower limb rehabilitation robot. *Mechatronics*, 33:13–22, 2016.
- [3] Weiguang Huo, Samer Mohammed, Juan C Moreno, y Yacine Amirat. Lower limb wearable robots for assistance and rehabilitation: A state of the art. *IEEE systems Journal*, 10(3):1068–1081, 2016.
- [4] Iván Rodríguez Claudio. Entrenamiento robótico como medio de rehabilitación para la marcha. *Evidencia Médica e Investigación en Salud*, 5(2):46–54, 2012.
- [5] Cristina Calzada Vázquez Vela y Carlos Alberto Vidal Ruiz. Parálisis cerebral infantil: definición y clasificación a través de la historia. *Rev Mex Ortop Ped*, 1:6–10, 2014.
- [6] Rayanne Floriano Batista, José Rafael Abreu García, y Feliberto Fernández Castañeda. Modelo de sistema de control de prótesis de rodilla transfemoral para un ciclo de marcha. *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 33(2):42–49, 2012.
- [7] Juan Álvaro Gallego, Arturo Forner Cordero, Juan C Moreno, Edyta A Turowska, y Jose L Pons. Síntesis de la marcha robótica mediante la aproximación del

ciclo límite: el robot bípedo esbirro. *Science CSIC*, pages 54–109, 2008.

- [8] Hiroaki Kawamoto y Yoshiyuki Sankai. Power assist system hal-3 for gait disorder person. *Computers helping people with special needs*, pages 19–29, 2002.
- [9] Gabi Zeilig, Harold Weingarden, Manuel Zwecker, Israel Dudkiewicz, Ayala Bloch, y Alberto Esquenazi. Safety and tolerance of the rewalkTM exoskeleton suit for ambulation by people with complete spinal cord injury: A pilot study. *The journal of spinal cord medicine*, 35(2):96–101, 2012.
- [10] Jerry E Pratt. Exploiting inherent robustness and natural dynamics in the control of bipedal walking robots. Technical report, DTIC Document, 2000.
- [11] JM Grosso y D Tibaduiza. Diseño conceptual de un exoesqueleto para asistir la rehabilitación de miembro inferior. *UNAB, Bucaramanga, Colombia*, 2011.

Adaptación de la técnica constructiva Súper Adobe, para localidades del Municipio de Cajeme

J.M. Romero-Balderrama^{1,*}, N. Marcial-Chávez¹, B. García-Llanes¹, L. Cuevas-Othon¹, C.H. Grijalva-Ángulo¹, J.I. Brambila-Zazueta²

¹Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, Jefatura de División de Arquitectura, Cuerpo Académico ITESCAJ-CA-07, Carretera Internacional a Nogales Km. 2, CP. 85024, Cd. Obregón Sonora, México.

²Estudiante de la Licenciatura en Arquitectura, Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, Carretera Internacional a Nogales Km. 2, CP. 85024, Cd. Obregón Sonora, México.

*e-mail: jromero@itesca.edu.mx

Resumen: *Este trabajo de investigación busca adaptar la técnica constructiva conocida como “Súper Adobe” para brindar vivienda básica de calidad a un bajo costo, con mayores ventajas térmicas, de resistencia y durabilidad. En nuestro municipio, las poblaciones que viven en zonas rurales sufren las inclemencias climatológicas, es por ello que nace la iniciativa de implementar y fomentar la técnica propuesta. En este contexto es muy importante la credibilidad en los factores de resistencia y durabilidad de la técnica, para ello se propone un diseño de mezcla en una dosificación determinada, y avalada mediante diversas pruebas de laboratorio.*

Palabras clave: Súper Adobe, Casa Ecológica y Sustentabilidad.

Abstract: *This research work seeks to adapt the construction technique known as “Super Adobe”, to provide basic assistance, higher cost, greater thermal advantages, strength and durability. In our municipality, the populations that live in the rural areas are the in clemencies climatologically, is therefore born the initiative to implement and promote the proposed technique. In this context, the credibility of the resistance and durability factors of the technique is very important, for which purpose a mix design is proposed in a given dosage, and endorsed by various laboratory tests.*

Keywords: Earth bags, Ecological House y Sustainability.

1. Introducción

El presente trabajo de investigación tiene como principal objetivo adaptar la técnica constructiva, de casas ecológicas, llamada Súper Adobe, para la construcción de vivienda rural aplicando métodos de dosificación de tierra de relleno y cal en diferentes proporciones según su volumen y medir el comportamiento a cargas de compresión.

La importancia de estudiar este tema en particular radica en contribuir a generar una alternativa más a la de vivienda rural, hay que entender que la técnica ofrece una mayor calidad en factores de durabilidad, confort térmico y economía. Por otro lado el beneficio al impacto ambiental que ofrece la técnica en comparativa con los otros sistemas constructivos convencionales supera la relación amigable con el medio ambiente, como en costos energéticos y efectos de emisiones de CO₂.

Es una construcción muy versátil y atractiva, ya que con la forma propuesta de domo y arco, soluciona la estructura por sí misma, evitando utilizar elementos de estructura convencionales como, castillos o columnas de concreto o acero. La forma de abordar el asunto es considerando a un futuro la colaboración del sector gubernamental tomando la iniciativa de analizar la tierra de un banco de materiales que suministra dicho material a el H. Ayuntamiento de Cajeme.

2. Antecedentes

La tierra ha sido un material de construcción fundamental desde los orígenes de la construcción de casas en los inicios de la civilización, se ha empleado desde los primeros hábitats humanos, debido a la amplia abundancia y disponibilidad de la misma, ya que se encuentra presente en la gran mayoría de la superficie.



Figura 1. Muro de manguetas textiles rellenas de tierra. Fuente Gernot Minke 2001

El interés de la construcción con tierra reside en la naturaleza polifacética del material (propiedades térmicas y mecánicas apreciables), y en la posibilidad de fabricarlo sin consumo de energía contaminante, debido al hecho de que en todas las fases de fabricación del adobe o tapial tradicionales es posible utilizar fuentes limpias de energía, al no ser necesario en ninguna fase del proceso el recurso a procedimientos que exijan altas temperaturas ni requerirse materiales de mayor pureza que la que presentan en los yacimientos. Es ésta la diferencia sustancial con el ladrillo cerámico común [1].

Una gran parte de la población mundial no dispone de viviendas lo suficientemente seguras. Normalmente en la mayoría de las zonas inhóspitas o en las castigadas por catástrofes naturales (huracanes, sismos, temperaturas extremas) se concentra la población con menos recursos. Han construido viviendas siguiendo sus tradiciones y con los materiales disponibles. Sus casas suelen ser modestas y no están concebidas para resistir las cargas accidentales de vientos o sismos. Se requiere una solución constructiva que no solamente resuelva el problema de resistencia de las edificaciones sino que también sea económica. El proceso constructivo debe de ser asequible para que cualquiera pueda construir su vivienda con los materiales disponibles del propio entorno [2].

En el Instituto de Investigación de Construcciones Experimentales (FEB) de la Universidad de Kassel, Alemania, desde 1977 se investigaron diferentes posibilidades para utilizar en la construcción de muros elementos textiles rellenos con tierra arcillosa, pómez o arena. La Fig. 1 muestra el prototipo de una vivienda con

muros antisísmicos, contruidos con manguetas textiles rellenas de tierra y pómez. Se rellenan las manguetas con un embudo y se colocaron en forma de U y estas se fijaron con cañas de bambú [3].

La técnica del Súper Adobe creada por Nader Khalili se basa en introducir tierra estabilizada con cal o cemento, que mejoran las características resistentes del suelo, dentro de sacos que son capaces de resistir tracciones. El súper adobe, que se muestra en la Fig. 2, es un caso particular del construcción con tierra, en el cual la colaboración de alambre de púas aporta adherencia entre los sacos.

3. Marco conceptual

El uso de la cal con tierra ha sido utilizado desde hace milenios. Solo en este último siglo se ha desplazado el uso de la cal por el del cemento. El cemento no transpira y en su fabricación se utiliza mucha energía y en su mezcla se incorporan silicatos de aluminio y acelerantes que son contaminantes. La cal permite el paso de la humedad ambiental de una casa y el domo “respira” el fenómeno se denomina transpirabilidad. Eso elimina la posibilidad de humedades. Pero tiene la facultad de no dejar pasar el agua de lluvia convirtiendo nuestro domo en un Goretex natural [4-9].

Según las posibles carencias de la tierra del terreno existen dos opciones:

1. Si es muy arcillosa comprar arena de obra. (En zonas con un 90 % de arcilla).



Figura 2. Estructura de Súper Adobe. Fuente Samuel Canadell Ruiz, 2014

2. Si es muy arenosa y tiene poca arcilla entonces se deberá comprar arcilla. (Terrenos con un 80 % o 90 % de arena.

En ambos casos, ha de hacerse pruebas con la mezcla de los materiales comprados para enriquecer la tierra. La mezcla perfecta es 70 % o 80 % arena 30 % o 20 % de arcilla [9].

Desde las aportaciones de Nader Khalili y de la difusión de la técnica a través de las actividades de Cal-Earth, numerosas organizaciones humanitarias y particulares han encontrado en el earthbag una solución constructiva apta para sus necesidades, y por ello han experimentado con ella [10, 11]. La técnica se basa introducir tierra en sacos de polipropileno que conforman hiladas y se apilan ordenadamente para generar espacios cerrados. Se puede construir con sacos individuales, que se van llenando uno a uno en un espacio determinado y después se colocan uno al lado del otro. También existe la posibilidad de construir con saco continuo, en forma tubular. Ésta, permite avanzar más rápidamente ya que se ejecutan menos cierres de saco y la fase de llenado y colocación se producen simultáneamente [2].

En función de las proporciones de arcilla y arena del terreno disponible, se recomienda estabilizar con cal o cemento. En la Tabla 1 se muestran las proporciones recomendadas para que una vez la mezcla esté endurecida, tenga suficientes características mecánicas.

Tabla 1. Tipo de estabilización del suelo, en función del porcentaje de arcilla y arena.

Tipo de suelo	% de Arcilla	% de Arena	Estabilización
Arcilloso	>40	<60	Cal
Bueno	30 ~40	70 ~60	No necesaria
Arenoso	<30	>70	Cemento/Cal

4. Metodología

El método que se utilizó para la investigación fue crear diferentes dosificaciones entre las cantidades de los agregados de tierra (arcillas y arenas) y cal, la relación de cal sobre tierra en un 8 %, 10 %, 12 % y 15 % para identificar dentro de estos rangos el dato más alto obtenido en las pruebas de resistencia.

4.1. Muestreo de tierra

El banco de materiales de donde se obtuvo el material es el denominado banco de material “Xochil”, ubicado detrás del panteón nuevo, Fig 3. (27°30'30.4"N 109°51'34.7"W)

4.2. Toma de muestra

Es importante en campo considerar las condiciones naturales de los materiales, y uno de los factores es la humedad, es por ello que al momento de tomar la muestra se separó la tierra cernida con la retro excavadora para



Figura 3. Ubicación satelital “Banco Xochil” Fuente Google Earth 2019

tomar del núcleo en donde aún conserva la humedad natural. Se depositó la muestra en una bolsa de hule negro con el fin de mantener la humedad natural, amarrándola y depositando dentro de una cubeta de 19 lts. Fig. 4.



Figura 4. Toma de muestra de núcleo. Fuente Samuel Canadell Ruiz, 2014

4.3. Elaboración de especímenes

Se saca el peso volumétrico con un recipiente y la báscula, es importante depositar la tierra con la técnica de “caída libre”. Con el instrumento enrasador se quita el exceso de tierra sobre el recipiente, con el fin de dejar solamente

el volumen del recipiente y llegar a una mayor precisión en cuanto al peso volumétrico calculado como peso del material entre volumen del recipiente, Fig. 5.



Figura 5. Técnica caída libre para obtener peso específico del material.

Es importante homogenizar en seco la tierra y la cal, antes de aplicar agua, para darle una mejor uniformidad

a la cal a la hora de activarse con el agua. Se hicieron las dosificaciones señaladas en volumen, Fig. 6.



Figura 6. Homogenización de materiales en seco y aplicación de humedad.

Con el instrumento llamado “martillo compactador” se apisona la mezcla en tres etapas y en cada una de ellas se aplican 15 compactaciones de caída libre, Fig. 7.



Figura 7. Compactación de especímenes.

5. Resultados

El resultado de todas las pruebas realizadas en laboratorio de mecánica de suelos, fueron calculados por porcentaje de cal y tierra. La Tabla 2 muestra los promedios de resistencia para cada porcentaje, entre las relaciones propuestas en cuanto a las proporciones de cal tomada del lugar se obtuvo que el diseño del 15 % de cal sobre la arcilla fue la más resistente.

Tabla 2. Valores de Resistencia a la compresión en ensayos

Resistencia	Proporción en volumen de Cal sobre la tierra			
	8 %	10 %	12 %	15 %
Esfuerzo Fuerza a compresión (Kg/cm ²)	84.65	92.33	105.47	109.08

La resistencia a compresión se determinará, para cada tipo de pieza, de acuerdo con el ensaye especificado en la norma NMXC-036-ONNCCE. Las resistencias de diseño $f_{p'}$ y la resistencia media \bar{f}_p a compresión de las piezas no fue menor que las indicadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de Resistencia a la compresión Normativa NMXC-036-ONNCCE

Tipo de pieza y material	$f_{p'}$ (MPa)	\bar{f}_p (MPa)
Tabique macizo de arcilla artesanal	6(60)	9(90)
Tabique macizo o multiperforado de arcilla o de concreto	10(100)	15(150)
Tabique hueco de arcilla o de concreto	6(60)	9(90)
Bloque macizo o multiperforado de arcilla o de concreto	10(100)	15(150)
Bloque hueco de arcilla o de concreto	6(60)	9(90)

6. Conclusiones

Considerando los resultados obtenidos, se puede concluir que es posible y efectiva la adaptación de la técnica Súper adobe, en la región de Cajeme, gracias al análisis de las pruebas es importante considerar como alternativa de las proporciones en relación agua, cal, y tierra las que están en el rango del 10 y 12 % del volumen de cal sobre la tierra para mantener el diseño comprometido a cumplir referente a la norma “NMXC-036-ONNCCE”. Se puede definir que el sistema constructivo resiste el 182 % de la capacidad de un sistema convencional como el block hueco de arcilla o concreto proporcionando un sistema resistente y térmico. Se recomienda seguir la investigación con el sistema constructivo tradicional del superadobe con esta tierra para el uso de casas de bajo costo [12].

Por lo tanto, este proyecto de investigación ha resuelto la búsqueda de la mezcla más apegada a un equilibrio económico y sustentable, sin embargo tenemos la posibilidad de crecer a un nivel más, donde se puede buscar otros datos importantes sobre la técnica, tal como la ganancia térmica.

Referencias

- [1] Mariano Vázquez Espí. Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales. *Informes de la Construcción*, 52(471):29–43, 2001.
- [2] Samuel Canadell Ruiz. Estudio estructural de domos realizados con la técnica de falsa cúpula y superadobe. B.S. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2014.
- [3] Gernot Minke. *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. Forschungslabor für Experimentelles Bauen Universidad de Kassel, 2001.
- [4] Tania Alejandra Trigo Salas. Estudio del comportamiento estructural de construcciones de tierra: la técnica constructiva earthbag. Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 2015.
- [5] Kaki Hunter y Donald Kiffmeyer. *Earthbag building: the tools, tricks and techniques*, volume 8. New society publishers, 2004.
- [6] Brooke Barnes, Mihyun Kang, y Huantian Cao. Sustainable characteristics of earthbag housing. *Housing and Society*, 33(2):21–32, 2006.
- [7] Brandon Ross, Michael Willis, Peter Datin, y Ryan Scott. Wind load test of earthbag wall. *Buildings*, 3(3):532–544, 2013.
- [8] Deborah M Santos y José Nuno Beirão. Integration of bim and generative design for earthbag projects. In *International Conference of Progress in Digital and Physical Manufacturing*, pages 102–109. Springer, 2019.
- [9] Yasemin Erbil. An alternative approach to building construction: Natural building techniques. *European Journal of Sustainable Development*, 7(1):17–24, 2018.
- [10] Hassan Fathy. *Arquitectura para los pobres*. Extemporáneos, 1975.
- [11] Silverio Hernández Moreno. El diseño sustentable como herramienta para el desarrollo de la arquitectura y edificación en México. *Acta Universitaria*, 18(2):18–23, 2008.
- [12] Teresa del Rosario Argüello Méndez y Albert Cuchí Burgos. Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10 x10 con techo-chiapas del cyted. *Informes de la Construcción*, 60(509):25–34, 2008.

Implementación de un tablero sensorial para apoyo en la terapia de rehabilitación

A.M. Luna-Rodríguez^{1,*}, I.O. Luna-Rodríguez¹, R. Navarro-García¹, M. alvarez², M.G. González-Mejía²

¹Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, Jefatura de División de Ingeniería Electrónica, Carretera Internacional a Nogales Km. 2, CP. 85024, Cd. Obregón Sonora, México.

²Estudiante de la Licenciatura en Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico Superior de Cajeme, Carretera Internacional a Nogales Km. 2, CP. 85024, Cd. Obregón Sonora, México.

*e-mail: aluna@itesca.edu.mx

Resumen: *Un aula de estimulación multisensorial, es un espacio habilitado para que los alumnos con algún tipo de discapacidad puedan interactuar con el medio a través de la estimulación de sus sentidos. Es un espacio para trabajar diferentes tipos de discapacidades a través de la relajación y la estimulación, por lo que se convierte en un entorno óptimo para la educación especial. La principal finalidad de los espacios o aulas multisensoriales es que los niños tengan la oportunidad de estar expuestos a estímulos controlados con el objetivo de adquirir una serie de aprendizajes por medio del descubrimiento y desarrollar el máximo potencial de sus habilidades escolares, sociales e intelectuales. En este trabajo se desarrolla un prototipo que involucre el uso de tecnologías para su uso en un aula multisensorial del Centro de Atención Múltiple Estatal (CAME), estimulando algunos de los sentidos, con la finalidad de que los niños que asisten al centro tengan la oportunidad de aprender y desarrollar sus sentidos, creando experiencias de aprendizaje y de terapia. Específicamente se muestra el proceso de implementación de un tablero que permita la estimulación del sentido visual y auditivo para su uso dentro del aula multisensorial del CAME.*

Palabras clave: Sensor Fotorresistivo, Tira LED RGB, Arduino, Software Scratch, Terapia de rehabilitación.

Abstract: *A classroom of multisensory stimulation is a space enabled for students with some type of disability to interact with the environment through the stimulation of their senses. It is a space to work different types of disabilities through relaxation and stimulation, so it becomes an optimal environment for special education. The main purpose of multi-sensory spaces or classrooms is that children could be exposed to controlled stimuli in order to acquire a series of learning through discovery and develop the maximum potential of their school, social and intellectual skills. This paper shows a prototype developed that involves the use of technologies for its use in a multisensory classroom of the Multiple State Attention Center (CAME), stimulating some of the senses, with the purpose that the children who attend the center could learn and develop their senses, creating learning and therapy experiences. Specifically, the process of implementing a board that allows the stimulation of the visual and auditory sense for its use within the multi-sensory classroom of the CAME is shown.*

Keywords: Photoresistive Sensor, RGB LED Strip, Arduino, Software Scratch, Rehabilitation Therapy.

percepción, que cumple un papel muy importante ya que procesa la información en el cerebro para poder ser transmitida.

Existen varios factores que pueden llegar a inhibir el desarrollo sensorial haciendo que no se presente de la mejor manera en algunas personas.

Se puede definir la senso-percepción como un proceso por el cual un estímulo se transforma en una modalidad de conducción eléctrica o química, se transmite en forma

1. Introducción

El desarrollo sensorial es un proceso muy importante dentro de la vida de cada persona, aportando en el aprendizaje del ser humano. Dentro de este, se encuentra la sensación, que es la encargada de recibir la información del exterior a través de los sentidos; también está la

codificada a áreas específicas del sistema nervioso central que reciben la señal, la traducen, procesan y seleccionan una respuesta que retorna decodificada a nivel cognitivo, emocional o motor.

Es necesario tomar en cuenta que en toda sensación hay un componente físico (el estímulo) un componente fisiológico (receptor, órgano sensible y neurona) y un componente psicológico (toma de conciencia del hecho). Se producen a través de los sentidos (vista, oído, olfato, gusto y tacto) y son el punto de partida del conocimiento.

La mente los compara y asocia con experiencias sensoriales pasadas, los interpreta, les da un significado y se convierten en una percepción [1-3].

El desarrollo sensorial es un conjunto de estructuras encargadas de la recepción, transmisión y la integración de las sensaciones táctiles, visuales, auditivas, etc. [4]. En el comienzo del aprendizaje, no hay nada en la mente que antes no haya estado en los sentidos, ya que el niño no recibe ideas, sino imágenes; el niño retiene sonidos, figuras, sensaciones; todo su saber está en la sensación. El cerebro no es capaz de sentir, reaccionar y pensar normalmente si se encuentra en un vacío sensorial. Esta información es absolutamente esencial para el comienzo del desarrollo de las funciones mentales en el niño, porque la actividad cerebral depende esencialmente de los estímulos sensoriales, no sólo al nacer, sino también durante toda su vida. A través del desarrollo sensorial el niño se desarrollará en todos sus aspectos, creando así una base para posteriores desarrollos, cognitivos, físicos y de lenguaje. Este va a constituir los canales por donde el niño recibe la información de su entorno (colores, formas, olores, sabores, sonidos, etc.), y de su propio cuerpo (sensaciones de hambre, de frío, de posiciones de cuerpo en el espacio, etc...). Las capacidades sensoriales son las primeras funciones que se desarrollarán porque son importantes dentro del desarrollo perceptivo y cognitivo. A partir de la cantidad de información que el niño reciba, podrá dar respuestas adaptadas a las condiciones del medio o del entorno; es decir realizará acciones inteligentes [5, 6].

Por lo anteriormente señalado es muy importante que los niños tengan la oportunidad de estar expuestos a estímulos controlados con el objetivo de adquirir una serie de aprendizajes por medio del descubrimiento y desarrollar el máximo potencial de sus habilidades escolares, sociales e intelectuales

El Centro de Atención Múltiple Estatal (CAME) del Estado de Sonora, es una institución dedicada a la atención de niños con necesidades educativas especiales, en cuyas instalaciones requieren de un aula de este tipo.

2. Metodología

2.1. Visitas a los centros de rehabilitación

Durante las visitas al CAME se determinaron las necesidades de contar con un aula multisensorial y cuáles serían los materiales y/o dispositivos necesarios para su diseño. A su vez se realizaron visitas al CRIT Hermosillo y al museo Trapiche de los Mochis, y de acuerdo con lo recabado en dichas visitas se determinó realizar un tablero de bajo costo pero que cumpliera con los requerimientos necesarios para estimular el sentido de la vista y oído.

2.2. Requerimientos

Se planteó que el tablero sería diseñado para estimular de forma visual mediante un juego de luces; y a su vez, estimulación auditiva por medio de la reproducción de sonidos. Para ello se consideró el uso de elementos que fueran conocidos y fácilmente identificables por los niños, como lo son los colores primarios y figuras de animales como: perro, gato, caballo y gallo.

2.3. Selección de materiales

Una vez determinado la estimulación del sentido visual y auditivo se seleccionaron dispositivos que cumplieran con los requerimientos para el diseño, teniendo en cuenta que los componentes serían usados por niños, y por otro lado que fueran fáciles de operar por el personal docente.

3. Diseño del prototipo

El tablero debía estar dispuesto para instalarse en una pared del aula multisensorial con dimensiones de no mayores a un metro de largo por treinta centímetros de ancho. El software utilizado para el proyecto fue desarrollado en Scratch, el cual es un lenguaje de programación que facilita crear historias interactivas, juegos y animaciones orientado al aprendizaje de la computación complementando muchas áreas como las matemáticas [7-9].

Las señales se detectan a través de fotorresistencias montadas en moldes y se envían a un Arduino, para poder detectar qué figura está tocando el niño y desplegar un color y sonido distintivo de la selección.

Se seleccionó como base del tablero madera de 1/2 pulgada de grosor protegido con una capa de pintura contra agua y humedad para mayor durabilidad.

Se utilizaron trozos de fomi de diversos colores para forrar la madera y dar un aspecto visual más agradable

al niño, y que también estimulara de forma visual. Los colores seleccionados fueron rojo, verde, azul y amarillo.

Para realizar la estimulación visual, se utilizaron las tiras de LED RGB, como la que se presenta en la Fig 1, para generar una secuencia de luces, la tira de LED opera con un voltaje de 12 volts y requiere una señal PWM para generar los colores y tonalidades deseadas.



Figura 1. Tira de LED RGB

Para la adquisición de datos, programación de secuencia de luces y reproducción de sonidos se utilizó la tarjeta ARDUINO, por su fácil programación y por ser muy económica. Los sensores utilizados para la adquisición de datos fueron las fotorresistencias que permiten detectar la presencia de objetos al detectar un cambio en la intensidad de luz, haciendo uso de las entradas analógicas que se presentan en la Fig. 2.



Figura 2. Lectura de fotorresistencias

De acuerdo con las señales analógicas obtenidas de la placa Arduino y provenientes de las fotorresistencias (sensores) se detecta qué figura (molde) del animal está tocando el niño para activar el color correspondiente a la tira de LED RGB y el sonido asociado a dicho animal.

La lógica de programación y estructuras de control

para generar las secuencias de luces y reproducción de sonidos de acuerdo con el tipo de animal seleccionado por el niño se realizó en Scratch, aprovechando las librerías de Arduino, que son de fácil instalación en cualquier computadora y no genera un costo para el CAME. Los sonidos son tomados de una carpeta predeterminada, lo que permite reproducirlos por medio de un bloque de programación.

En la Fig. 3 se observa parte de la estructura de programación del tablero.

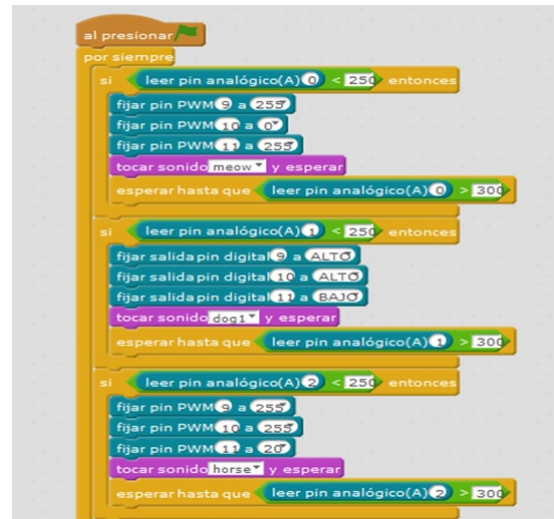


Figura 3. Estructura de programación

Se utilizó una impresora en 3D marca Makerbot Replicator para realizar los moldes de cuatro animales (caballo, perro, gato y gallo) como se presenta en la Fig. 4. Dichos moldes fueron montados sobre la placa de madera cubierta con fomi. Las piezas impresas en 3D fueron impresas en material de plástico PLA y se modelaron digitalmente en el software MakeBlock.

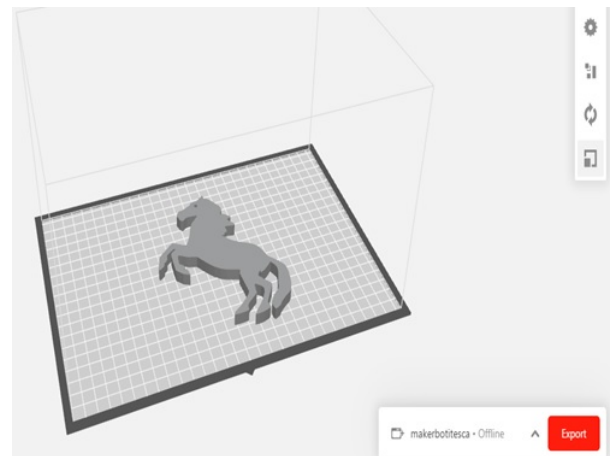


Figura 4. Impresión en 3D

También se realizó la impresión en 3D de las bases

para las placas de Arduino y un porta pilas para la alimentación, las cuales permiten mantenerlos protegidos del exterior y de posibles daños. En la Fig. 5 se presenta la base del Arduino y el porta pilas.

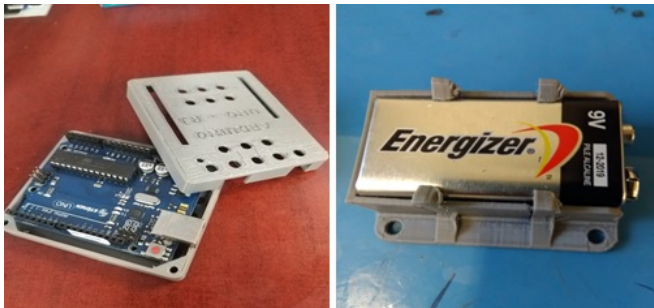


Figura 5. Chasis base para placa Arduino y porta pilas

4. Ensamble del prototipo

En el tablero se montaron las cuatro piezas impresas en 3D, como se presenta en la Fig. 6.



Figura 6. Figuras de animales en tablero.

Cada una de las figuras cuenta con un sensor fotorresistivo, que permiten detectar la figura seleccionada por el niño, el montaje de la fotorresistencia se muestra en la Fig. 7.

Se realizaron pruebas y programación de secuencia de luces de la tira LED RGB, utilizando la placa Arduino, tal como se muestra en la Fig. 8.

5. Prototipo Terminado

El prototipo final consiste en un tablero para la estimulación del sentido visual y auditivo, el cual requiere de la comunicación con una computadora mediante el puerto USB con la placa Arduino. De acuerdo con el animal seleccionado por el niño la tira de LED se enciende con el color correspondiente y se reproduce el sonido.



Figura 7. Fotorresistencia en pieza sobre tablero

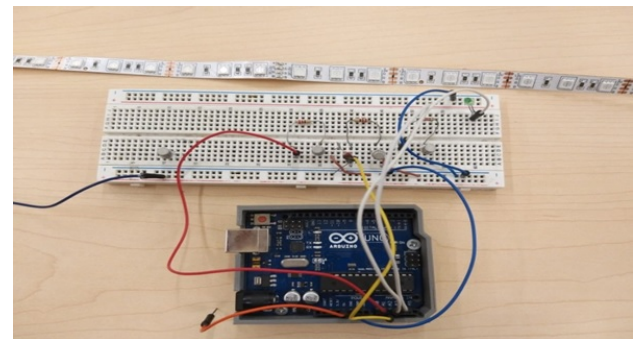


Figura 8. Pruebas a la tira LED RGB

De acuerdo con el prototipo que se muestra en la Fig. 9, si la figura seleccionada (tocada) por el niño es el gato, se reproduce el sonido de un maullido y se encenderá la tira LED RGB en color azul, si se selecciona al perro, el sonido a reproducir son ladridos y la tira LED RGB se encenderá de color rojo y así sucesivamente con cada uno de los dos animales siguientes.



Figura 9. Prototipo terminado.

6. Conclusiones

Se logró la implementar un tablero sensorial orientado a la ayuda terapéutica de niños con necesidades educativas especiales; el proyecto tiene un impacto social para los

niños y niñas que asisten al Centro de Atención Múltiple Estatal (CAME); a su vez se logra el equipamiento del centro el cual está limitado de recursos económicos e infraestructura.

El tablero tiene su potencial para ser mejorado e incluso agregar más opciones de programación para variar luces y sonidos, o bien, puede replicarse si algún otro centro de atención a niños lo requiere.

7. Agradecimientos

Se otorga un agradecimiento al CAME, por las facilidades otorgadas y sobre todo por haber depositado su confianza a esta casa de estudios.

Referencias

- [1] Rosalía Elena Aranda. *Atención temprana en educación infantil*. WK Educación, 2008.
- [2] Carmen de Andrés Viloria and Rosalía Aranda Redruello. La organización de la atención temprana en la educación infantil. *Tendencias pedagógicas*, (9):217–246, 2004.
- [3] M Gracia Millá. Atención temprana de las dificultades de aprendizaje. *Revista de neurología*, 42(2):153–156, 2006.
- [4] Cristina Cardó Florez, Berta Vila Saborit, et al. *Material sensorial (0-3 años): Manipulación y experimentación*, volume 8. Graó, 2005.
- [5] Raquel Martínez. El desarrollo sensorial del niño. URL: <https://utopiainfantil.com/2011/10/06/el-desarrollo-sensorial-del-nino/> [Stand: 6.10.2011], 2011.
- [6] María del Pilar Medina Alva, Inés Caro Kahn, Pamela Muñoz Huerta, Janette Leyva Sánchez, José Moreno Calixto, and Sarah María Vega Sánchez. Neurodesarrollo infantil: características normales y signos de alarma en el niño menor de cinco años. *Revista Peruana de medicina experimental y salud Pública*, 32(3):565–573, 2015.
- [7] Miguel A Conde, Francisco J Garcia-Penalvo, and Marc Alier. Interoperability scenarios to measure informal learning carried out in ples. In *2011 Third International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, pages 801–806. IEEE, 2011.
- [8] Ángel Manuel Guerrero-Higueras, Lidia Sánchez-González, Miguel Ángel Conde, Francisco J Rodríguez Lera, Manuel Castejón-Limas, and Nicolai Petkov. Facilitating the learning process in parallel computing by using instant messaging. In *Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, pages 558–563. ACM, 2019.
- [9] F. J. G. Peñalvo, V. Zangrando, A. G. Holgado, M. Á. C. González, A. M. S. Pardo, M. A. Forment, J. Janssen, D. Griffiths, A. Mykowska, G. R. Alves, and M. Minović. Trailer project overview: Tagging, recognition and acknowledgment of informal learning experiences. In *2012 International Symposium on Computers in Education (SIIE)*, pages 1–6, Oct 2012.