

## Desarrollo del Prototipo de Ortesis Inteligente de Rehabilitación Neuromuscular para la Recuperación Motora en Extremidad Superior a Paciente con Traumatismo Craneoencefálico Penetrante.

H. G. Zúñiga<sup>1</sup>, D. Lorias-Espinoza<sup>1</sup>, F. P. Escamirosa<sup>2</sup>, J.G. Gneccchi<sup>3</sup>, L.D. Rangel<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Bioelectrónica, I.P.N./Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Ciudad de México

<sup>2</sup> Departamento de Cirugía, U.N.A.M./Facultad de Medicina, Ciudad de México

<sup>3</sup>Ingeniería Electrónica/Instituto Tecnológico de Morelia, Michoacán

<sup>4</sup> Medicina Física y Rehabilitación, I.S.S.S.T.E/U.N.A.M/ Facultad de Medicina, Ciudad de México

szuniga@cinvestav.mx

**Resumen**— Con esta ortesis o dispositivo (guante inteligente) de terapia utilizado para la rehabilitación neuromuscular y para la rehabilitación virtual en extremidad superior un paciente con traumatismo craneoencefálico penetrante podrá realizar actividades físicas en su extremidad superior. El paciente portara el guante inteligente en la mano y muñeca que tenga lesionada. El guante se conecta con el APP, el cual guía al paciente a través de una rutina de movimientos virtuales en pantalla repetitivos para hacer trabajar tendones y músculos específicos. Los datos provenientes de los sensores inteligentes del guante se alimentan a través de un algoritmo de software que personaliza el tipo de juego de entrenamiento virtual dependiendo de las necesidades del paciente. El algoritmo de aprendizaje utilizado Machine learning (aprendizaje supervisado) o árbol de decisiones, permitirá evaluar la probabilidad de tomar una decisión correcta abrir o cerrar la mano. El resultado final se traduce que el dispositivo de terapia que utilizamos en la rehabilitación neuromuscular el paciente pudo realizar actividades físicas en su extremidad superior, además, al aplicar la rehabilitación virtual que es una simulación de la realidad la cual tuvo efectos beneficiosos en la extremidad superior en tiempo real el paciente mostro mejoras estadísticamente significativas en los puntajes FM y JTT que mantuvo en el periodo de un mes usándolo en promedio media hora al día, por lo que en el futuro el desarrollo de esta tecnología seguirá siendo fundamental en la relación tratante-paciente, no debiendo ser considerada como un elemento que desplace a los tratamientos ya existentes sino como una terapia coadyuvante más en el amplio espectro de las herramientas de la medicina física y la rehabilitación.

**Palabras clave**—TCE, Penetrante, Guante Inteligente, Sensor Inteligente, PCB, MCU, Bluetooth, Hemiparesia, Rehabilitación Neuromuscular, Rehabilitación Virtual, Neuroplasticidad.

### I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial 1.3 millones de personas fallecen anualmente por Traumatismo Craneoencefálico (TCE), y lesionan gravemente un estimado de 50 millones, el 90% de las muertes se producen en países de ingresos bajos y medios [1]. En México, el TCE es la cuarta causa de muerte con un índice de mortalidad de 38.8 por cada cien mil habitantes y

con mayor incidencia en hombres de 15 a 45 años [2]. Respecto a los traumatismos no mortales, un considerable número de sobrevivientes presentara secuelas importantes que impedirán o dificultaran el retorno y adaptación a sus actividades anteriores en el ámbito social, académico, profesional y aun familiar. Se reporta que tan solo el 40% de los sobrevivientes llega a incorporarse a una actividad productiva después de una lesión cerebral [3], de hecho, su calidad de vida será altamente dependiente de la gravedad de las secuelas neuropsicológicas [4]. Se estima que, en México, cada día son hospitalizados 1700 personas con lesiones severas y más de 100 enfrentan discapacidad por la misma causa, en promedio 36,500 de discapacitados al año [5].

### II. METODOLOGÍA

**IIA. Caso clínico**, Paciente Masculino de 23 años, que presenta herida por proyectil de arma de fuego en Cráneo, año 2016. Fig. 1



Fig. 1. TCE penetrante

**IIB. Desarrollo del dispositivo.**

**Características técnicas.** Tipo de sensor: Sensor MEMS de 9 ejes programable, BNO080. Fabricants Hillcrest Labs y Bosch Sensortec. Integra un acelerómetro triaxial un giroscopio triaxial, una brújula digital o magnetómetro y un microcontrolador ARM® Cortex™ -M0 + de 32 bits que ejecuta el firmware SH-2™ de Hillcrest. Fig. 2

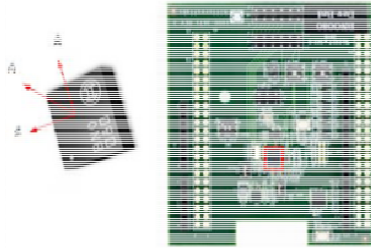


Fig.2 BNO080

**Circuito electrónico:** Compuesto por: 1) **Sensor inteligente.** Sensor de flexión que es una resistencia variable que cambia a medida que se dobla, el sensor BNO080 es un sensor de movimiento y posición de 9 ejes que consta de 3 canales de aceleración, 3 canales de velocidad angular y 3 canales de campo magnético que miden los movimientos de la muñeca, conectados a un sistema informático que puede calcular con precisión la cantidad de movimientos individuales de los dedos. 2) **PCB.** Compuesto por dos tarjetas electrónicas una el MCU (Integra un acelerómetro triaxial, giroscopio triaxial, brújula digital o magnetómetro y un microcontrolador) y la otra es un módulo bluetooth donde se genera la aplicación APP android de los juegos interactivos. 3) **Código.** Programa o código binario, lenguaje de programación, utilizando el sistema binario (sistema numérico de dos dígitos, o bit: el "0" /cerrado/ y el "1" /abierto/). 4) **BLE.** Bluetooth de baja energía, es una nueva tecnología digital de radio inalámbrica interoperable para pequeños dispositivos desarrollada por bluetooth. Es la primera tecnología abierta de comunicación inalámbrica, que ofrece comunicación entre dispositivos móviles. Fig.3

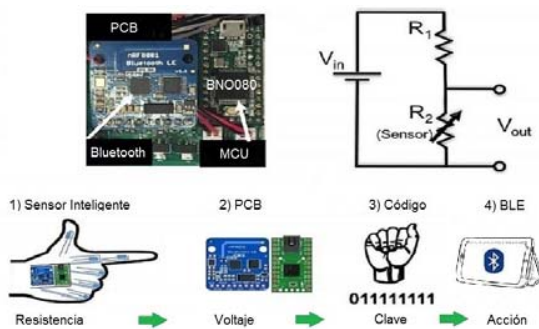


Fig.3 PCB

**Software.** BNO080 El Kit de desarrollo contiene una placa Nucleo STM32 preprogramada con software Hillcrest que permite la comunicación entre BNO080 y Freespace™ MotionStudio 2. Freespace™ MotionStudio 2 es una aplicación de Windows que permite a los usuarios controlar y configurar BNO080 a través de una interfaz USB. Fig. 4

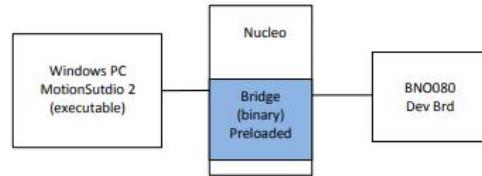


Fig. 4 Diagrama simplificado del sistema con Freespace™ MotionStudio 2

Freespace® Sensor Module (FSM) con interfaz USB. Fig.5

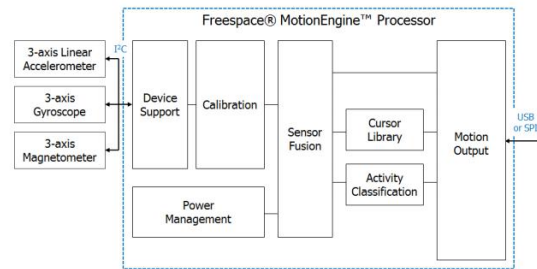


Fig.5 Diagrama a bloques del FSM-9

**FREESPACE® MOTIONSTUDIO 2.** MotionStudio 2 está especialmente diseñado para configurar y evaluar plataformas avanzadas de módulos de sensores habilitados para Freespace, como el kit de desarrollo BNO080. Se ejecuta en Microsoft Windows 7 y Windows 10 y permite a los desarrolladores realizar operaciones en dispositivos conectados tales como actualizaciones de firmware, calibración y control de sensores. Freespace MotionStudio 2 habilita:

- Control de sensor y registro
- Visualización del movimiento con la pantalla de objetos virtuales
- Gestión de firmware del dispositivo, reorientación, calibración y otras operaciones críticas.

**Requisitos**

**OS:** Windows 7, Windows 10  
**Procesador:** Intel Core i7 1.8GHz y más rápido  
**RAM:** 8GB mínimo

**APP Bluetooth**

- Configuración del módulo Bluetooth HC 06
- Arduino uno
- Tableta con Android
- Jumpers para conectar Arduino con el modulo
- Cable USB compatible con Arduino.

Generamos una App que pueda enviar caracteres por Bluetooth a un dispositivo remoto.

**Algoritmos de Aprendizaje.** Machine Learning es una rama de la **Inteligencia Artificial**, relacionada con el diseño y

desarrollo de algoritmos que permiten evolucionar a comportamientos basados en datos empíricos. **Aprendizaje supervisado.** Árbol de decisión: Un árbol de decisiones es una herramienta de apoyo a la decisión que utiliza un gráfico. Fig 6

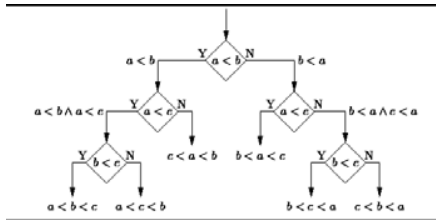


Fig. 6 Algoritmo de aprendizaje

Un árbol de decisiones es el número mínimo de preguntas sí/no. En nuestro caso del guante inteligente será abrir o cerrar la mano que uno tiene que hacer, para evaluar la probabilidad de tomar una decisión correcta.

*IIC. Ortesis o Guante Inteligente,* Es un guante inteligente con tecnología Bluetooth, con sensores para medir los movimientos de los dedos y la muñeca. Durante las sesiones de rehabilitación neuromuscular y virtual, el paciente debe realizar movimientos simples como extender o cerrar los dedos o girar la muñeca, para realizar tareas básicas dentro del juego de entrenamiento. Los movimientos se basan en terapias clínicas de uso común y un algoritmo de programación de aprendizaje, este ayudara a ajustar la dificultad para optimizar el desafío y la motivación de los juegos de entrenamiento. Los elementos de gamificación y la interfaz fácil de usar motivan al paciente durante todo el proceso de rehabilitación. Ayudando a inducir la Neuroplasticidad para la función de la mano del paciente con daño cerebral, mientras juega, ve y oye los sonidos del juego. Se espera ser más efectivo que la terapia de rehabilitación convencional. Fig. 7, 8 y 9.

*II D. Rehabilitación,* Sé someterá al paciente a la rehabilitación neuromuscular y simulación virtual. Las pruebas se llevaron a cabo para la valoración Fugl-Meyer y Jebsen-Taylor (prueba funcional de la mano), a la primera semana, cuarta semana y después del mes de terapia de Rehabilitación Neuromuscular y simulación virtual, usando la ortesis en promedio de media a una hora al día.

### III. RESULTADOS

Dado lo anterior el objetivo de este trabajo es destacar los factores de rehabilitación neuromuscular y simulación virtual, se diseñó y realizo una ortesis de entrenamiento inteligente para paciente adulto con TCE penetrante, la fabricación de esta ortesis es de tamaño personalizado, el

resultado se espera un cambio en los puntajes de la valoración sensoriomotora en (extremidad superior, muñeca, mano, coordinación velocidad) de Fugl-Meyer FM y cambio en los resultados en la valoración objetiva y estandarizada de la función de la mano Jebsen-Taylor (JTT). Tabla 1 y 2.

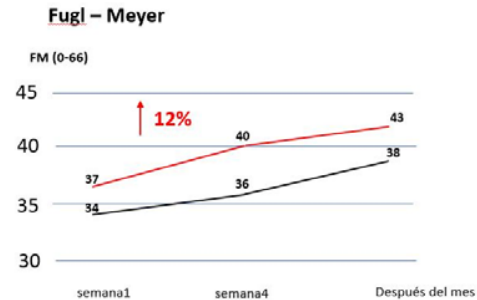


Tabla 1. Tabla de Resultados FM.

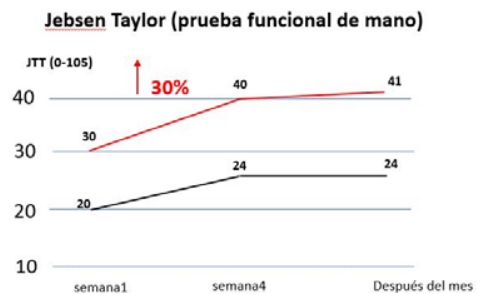


Tabla 2. Tabla de Resultados JTT.



Fig.7 Ortesis de Entrenamiento Inteligente



Fig.8 Rehabilitación simulación virtual



Fig.9 Induciendo la Neuroplasticidad

Este paciente sobreviviente a un TCE que usa la repetición para promover la Neuroplasticidad mostro un progreso significativo en su recuperación. El estudio encontró que el paciente que tenia problemas con el ejercicio de agarre y liberación demostró una mayor reorganización en el área cortical del cerebro después de participar en el programa de rehabilitación repetitivo. Sin repetición dedicada el cerebro no puede reconstruir las redes neuronales que se dañaron durante el TCE.

#### IV. DISCUSIÓN

Tal como lo dice su nombre, la Realidad Virtual (RV) consiste en una Simulación de la Realidad cotidiana a la que nos vemos enfrentados simulación que se crea con base en un sistema informático (software y hardware) el cual se encarga de generar los entornos sintéticos con los cuales él paciente puede interactuar de manera similar a como lo haría en el mundo real. En el mercado mundial comercial existen ortesis capaces de proporcionar rehabilitación neuromuscular o rehabilitación virtual pero no ambas, esta ortesis inteligente de entrenamiento combina rehabilitación neuromuscular y rehabilitación virtual al mismo tiempo en el mismo dispositivo, con un costo mucho más económico, tan solo el 2% del valor de la ortesis inteligente mas cara en el mercado mundial por lo que su comercialización va enfocada al mercado de escasos recursos (Hospitales y Centros de Rehabilitación Públicos). El TCE es una patología cerebral de creciente importancia en las sociedades desarrollada su manejo es un proceso dinámico que inicia desde el periodo prehospitalario hasta la rehabilitación. Por la magnitud y complejidad de esta afección en especial cuando esta aunada a otra lesión traumática es de suma importancia la atención multidisciplinaria. Son muchos los casos de TCE que presentaran secuelas neuropsicológicas por lo que es de especial relevancia conocer el sustrato fisiológico y

anatómico para así entender mejor el patrón neuropsicológico y poder plantear una evaluación y rehabilitación adecuada. La debilidad o la parálisis es muy común después de un TCE, de hecho, aproximadamente 9 de cada 10 sobrevivientes de un TCE experimentan algún tipo de limitación en el movimiento muscular típicamente más en extremidades superiores, (manos).

#### V. CONCLUSIÓN

Es por lo que con esta tecnología propuesta guante inteligente (**HUGLOVE**), indicado para pacientes con lesión neurológica: *Lesión cerebral* (Hemiparesia, Monoparesia, Hemiplejia espástica, Tetraparesia, enfermedad neurológica, daño en la corteza cerebral motora) o una *Lesión Ortopédica* (Síndrome del túnel carpiano, fractura del radio distal), el cual combina la rehabilitación neuromuscular la cual apoya a recuperar la función motora de (mano, dedos, muñeca y la parte inferior del brazo), y la rehabilitación virtual con apoyo de diversos juegos de entrenamiento interactivos de rehabilitación, ayudamos a mejorar la plasticidad y el movimiento a volver aprender por parte del cerebro, donde, el cerebro es capaz de formar nuevas conexiones en respuesta a una lesión cerebral (Neuroplasticidad) y a restablecer la comunicación entre las partes dañadas del cerebro y el cuerpo, este fenómeno en parte es lo que permite a los sobrevivientes de TCE a recuperar la función motora en las manos y otras áreas del cuerpo

#### RECONOCIMIENTOS

ISSSTE. HOSPITAL REGIONAL 1° DE OCTUBRE, “Los autores H.G. Zúñiga y D. Lorias-Espinoza agradecen el apoyo profesional médico del área de Medicina Física y Rehabilitación y a la disposición fehaciente del paciente en su recuperación motora de su extremidad superior”.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] ITF (2017), Road Safety Annual Report 2017, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/irtad-2017-en>
- [2] Raúl Carrillo Esper, J. Martín Meza-Márquez, Trauma craneoencefálico. Rev. Mexicana de Anestesiología Vol.38 Supl 3 octubre-diciembre 2015 pp. S433-S434. Disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/rma/cma-2015/cmas153h.pdf>
- [3] Van Velzen JM, van Bennekom CA, How Many People Return to Work after acquired brain injury? NCBI, Pub Med. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/02699050902970737>
- [4] Mar Ariza González, Roser Pueyo Benito. Secuelas Neuropsicológicas de los traumatismos craneoencefálicos, servicio de publicaciones de la Universidad de Murcia (España) ISSN edición impresa:0212-9728 ISSN edición Web. ([www.um.es/analesps](http://www.um.es/analesps)):1695-2294
- [5] Consejo Nacional para el Desarrollo y la inclusión de las Personas con Discapacidad, 27 de julio 2016. Disponible en: <https://www.gob.mx/conadis/articulos/los-accidentes-de-transito-y-la-discapacidad?idiom=es>