

# SISTEMA LÚDICO PARA EJERCICIOS DE TERAPIA DE LA ZONA CARPIANA Y FALANGES

Ing. Amaury Pérez Tirado M.A. Luis Yair Bautista Blanco

Profesor de Asignatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, Distrito Federal

Profesor de Asignatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, Distrito Federal

**Resumen - Se aplicó una metodología de diseño para desarrollar un sistema capaz de medir parte de la goniometría de la mano y utilizar esta información para interactuar con una interfaz gráfica, que a través de juegos por computadora, motiva a los usuarios a realizar sus ejercicios terapéuticos; El proyecto se realizó hasta el desarrollo de un modelo funcional.**

**Palabras clave – Juegos serios, gamificación, rehabilitación, fisioterapia, ejercicios, mano, dedos, motivación.**

## I. INTRODUCCIÓN

La rehabilitación de las personas a través de ejercicios terapéuticos requiere de una constancia y precisión de parte del paciente, con el fin de que exista un progreso [1]; estos ejercicios, generalmente, son efectuados en el hogar donde las personas son propensas a la desidia y el abandono. [2]

El proyecto presente consiste en el desarrollo de un dispositivo que permita realizar ejercicios de terapia para la mano, a través de actividades lúdicas.

El área de la fisioterapia, encargada de los ejercicios que involucran movimiento de las articulaciones es llamada mecanoterapia. [3]

En el caso actual, se hizo un estudio de aplicación para la mano, la cual se considera como un elemento de vital importancia en las actividades cotidianas de la persona [4], cuya anatomía a nivel óseo está compuesta por falanges, carpos y metacarpos [5], y se analizan los movimientos que realiza en los dedos con la flexión y extensión de las falanges; y en la muñeca los movimientos de abducción y aducción, y los movimientos de flexión y extensión, además de completar su movilidad gracias a la pronación y supinación proveniente del antebrazo.[6]

Como reforzamiento de la motivación se propone implementar un sistema basado en la gamificación, es decir, la aplicación de algunas de las mecánicas que son recurrentes en los juegos [7]; de esta manera, a través de factores psicológicos inmersos en los juegos de video; como la competencia, el desafío, la fantasía y la socialización [8], la actividad de terapia se vuelve atractiva para el usuario.

Han existido trabajos previos de aplicar los juegos serios en la terapia; como en el caso de la recuperación tras un accidente cerebrovascular, donde se aplicaron elementos de

realidad virtual en la terapia del miembro superior, con resultados positivos. [9]

Previo a la realización de este proyecto se realizó una investigación de los productos que existen en el mercado donde se destaca a la compañía Tyromotion® y la compañía de Hocoma®, cuyos productos tienen un enfoque similar.

El modelo funcional que se obtuvo permite la diversificación de actividades a través de la captura de datos del usuario.

## II. METODOLOGÍA DE DISEÑO

El método que se adoptó para este proyecto inicia con un análisis de la problemática involucrada que como se mencionó anteriormente, se basa en que la importancia de la realización de los ejercicios continuamente para la rehabilitación de la mano.

A partir de lo obtenido del análisis, se pueden destacar algunos puntos importantes en forma de requerimientos que deberá cumplir el sistema para cumplir con su objetivo. Estos a su vez son traducidos a modo de especificaciones técnicas (como se muestra en la Tabla 1) que pueden ser medibles u observables mientras se avanza en el desarrollo.

**TABLA I  
ESPECIFICACIONES**

<b>Tiempo tolerado mínimo</b>	20 [min]
<b>Espacio requerido máximo</b>	15 [cm] * 50 [cm]
<b>Dimensiones máximas</b>	30*30*30[cm3]
<b>Peso máximo</b>	3[kg]
<b>Velocidad de procesamiento mínimo</b>	20[MHz]
<b>Grados máximos para los ejercicios</b>	30[°] para muñeca 80[°] para falange proximal
<b>Cantidad de indicadores</b>	Mínimo un elemento por grado de libertad

Para poder definir al sistema en su totalidad se describe a modo de concepto, que engloba los elementos clave, finalmente se representa como:

Un dispositivo que permita al usuario realizar diversos ejercicios de movilidad, amplitud y resistencia de una manera

lúdica a través de la medición de variables dadas por el usuario que, después de ser procesadas, sean utilizadas por una interfaz para que pueda existir una interacción que entretenga, retroalimente al usuario y permita llevar un control del tiempo de uso, además que realice el registro de los datos obtenidos en cada sesión; este dispositivo deberá tener dimensiones de un electrodoméstico de mesa y el paciente podrá ser capaz de utilizarlo sin supervisión directa.

El concepto desarrollado es ilustrado a través de un diagrama de caja negra (Fig. 1) donde se tienen entradas y salidas del sistema, este a su vez es dividido en sub-funciones que permita simplificar la selección de tecnología y la configuración en conjunto.



Fig. 1 Diagrama de caja negra del sistema

Cada una de las sub-funciones es estudiada y se plantean posibles soluciones tecnológicas para cada área y posteriormente se plantean diferentes configuraciones que combinen algunas de las propuestas. Posteriormente se realiza la decisión de la mejor configuración para el sistema, donde se toma como parámetros los requerimientos que inicialmente se habían planteado.

### III. RESULTADOS

La configuración obtenida en el proyecto es desarrollada paralelamente en los diferentes sistemas que se requieren de manera que la sinergia cumpla con su función total.

La función de la lectura de la posición de las manos es realizada a través del sistema de sensado, en primer lugar consiste en una galga extensiométrica, para la posición de la flexión y extensión de los dedos, el modelo utilizado tiene una medida 2.2 [in], cuya posición es implementada en un guante que fue adaptado al sistema por medio de costuras (como se observa en la Fig. 2.A).

La implementación requirió de un circuito de acondicionamiento, dado que su resistencia varía de 30[kΩ] a 70[kΩ] se utilizó un divisor de voltaje, donde el valor de la resistencia fue de 100 [kΩ] para obtener un comportamiento más lineal, a través de un amplificador operacional LM324, se amplificó a un rango entre 1 y 4 [V] con la finalidad de poder implementarse en un convertidor analógico-digital; dentro del microprocesador se aplicó un filtro promedio digital.

Para la captura de la posición de la muñeca, se utiliza una unidad de medida inercial (IMU), cuyo modelo es GY-80, localizada en la parte superior de la base de la estructura; de manera que fuese posible adaptarse a diversas antropometrías (como se muestra en la Fig.2.B).

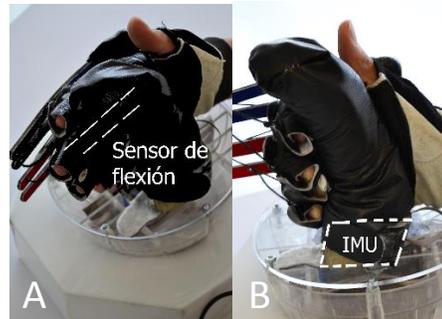


Fig. 2 Se observa la posición del sensor de flexión (A) y la IMU (B).

La aplicación de la IMU se realiza mediante la utilización sus componentes de aceleración, ADXL345 y de giro, L3G4200D; sus unidades son combinadas a través de un filtro complementario (Ec. 1), para obtener la posición del *pitch* y el *roll*.

$$\theta = 0.98 * (\theta + d\theta_{Gyr}) + 0.02 * \theta_{Acc} \quad (1)$$

Para completar las funciones descritas de procesamiento y comunicación del dispositivo se eligió el PIC18F4550, debido a sus características de frecuencia de oscilador de 48 [MHz] y su capacidad de comunicación USB.

Como retroalimentación de fuerza, se desarrolló un sistema de actuación basado en motores con reducción metálica, cuyo control de lazo cerrado se realizaba mediante la medición de la flexión de los dedos y una resistencia variable rotacional cuyo valor es utilizado para establecer la velocidad con la que se mueven los motores.

Los motores implementados fueron los micromotorreductores de la marca Pololu®, cuyas características principales se destacan el voltaje de operación entre 3 y 9 [V] y el par de fuerza de 3.6 [kg].



Fig. 3 Estructura del dispositivo en dibujo asistido por computadora.

La estructura fue diseñada con una geometría semi-esférica (como se muestra en la Fig. 3) con la finalidad de otorgarle al usuario la libertad de movimiento, con una restricción de 60 [°]; soportado sobre una base de acrílico, de modo que no se requiera cargar el peso del sistema; dentro de la estructura, se encuentra el circuito que comunica a todos los sistemas; dicha estructura alcanza una altura de 29 [cm] en su posición erguida.

El sistema comunicación con el cual el microcontrolador se envía los datos a la computadora se realiza mediante un protocolo USB CDC dentro del PIC18F4550 que emula un puerto serial RS-232, así es posible adaptarse a diversas computadoras.

La información que se recopila es utilizada en la interfaz a modo de control de la situación. Posteriormente los resultados de movilidad que representa el progreso del paciente, que consiste en el tiempo de utilización, el número de repeticiones, el avance en los desplazamientos y los errores obtenidos en los diferentes niveles establecidos; estos datos son almacenados para que posteriormente sean estudiados por el especialista a cargo.

El propósito del proyecto es que se tenga una gran cantidad de diversas actividades para evitar la monotonía, actualmente fueron desarrollados dos ejercicios, cuya duración promedio es de 6 [min] por actividad; los cuales pueden combinar distintos ejercicios y cumplir un tiempo de aprovechamiento de 15 [min]. Los ejercicios se describen a continuación.

#### A. Movimiento de los dedos

En esta actividad se realiza el movimiento angular de una hoja para permitir a las hormigas de diferentes alturas, llegar al lado derecho como se muestra en la Fig 4. Esto es controlado mediante la flexión y extensión de los dedos.



Fig. 4 Juego en 2D de las hormigas.

Se cuenta con la posibilidad de modificar el tiempo de la actividad, la cantidad de hojas y la distancia que existe entre ellas, así como también la frecuencia y velocidad de las hormigas; estas modificaciones son almacenadas como parte de la información para el terapeuta.

Adicional al movimiento de los dedos, el usuario es puesto a prueba de resistencia en ocasiones controladas, utilizando el sistema de actuación, donde se debe oponer a una fuerza producida por una araña que intenta jalar la hoja.

#### B. Movimiento de la muñeca

La actividad que utiliza la posición de la muñeca fue desarrollada en el entorno gráfico Unity, donde se realizó un escenario tridimensional. El objetivo del juego es memorizar una secuencia de colores y, a través de la flexión y abducción de la muñeca, moverse a través del espacio, como se muestra en la Fig 5.

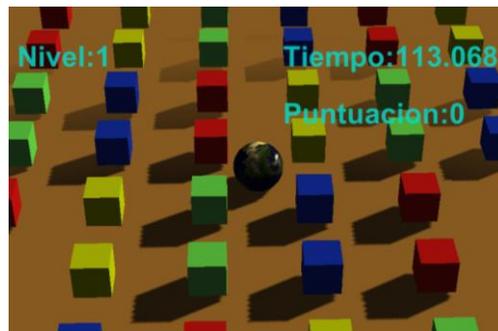


Fig. 5 Juego en 3D para el movimiento de la muñeca

En esta actividad se puede delimitar el tiempo de trabajo, la cantidad de movimientos permitidos y las sesiones a realizar.

En ambos casos la información del progreso y puntaje obtenido por el usuario es almacenada y presentada a modo de retroalimentación de las actividades para el usuario y así pueda observar sus avances del tratamiento así como mantener el factor psicológico del desafío, de romper sus marcas y, de ser posible, compartir sus experiencias con otras personas cercanas. De esta manera se refuerzan las distracciones de la enfermedad a modo de inmersión en el mundo virtualizado.

A partir del modelo funcional construido se obtuvieron los siguientes valores considerando las especificaciones planteadas.

Tabla II  
RESULTADOS DEL MODELO FUNCIONAL

<b>Tiempo tolerado mínimo</b>	18 [min] (3 series de 6 [min])
<b>Espacio requerido máximo</b>	12[cm] x 40[cm]
<b>Dimensiones máximas</b>	28 x 28 [cm <sup>2</sup> ] Altura 29 [cm]
<b>Peso o fuerza a vencer máxima</b>	2.75 [kg]
<b>Velocidad de procesamiento mínimo</b>	48 [Mhz]
<b>Grados máximos para los ejercicios</b>	25 [°] para la muñeca 60 [°] para la falange proximal
<b>Cantidad mínima de indicadores</b>	*Depende la actividad

#### IV. DISCUSIÓN

El modelo funcional completado, tanto a nivel hardware como en software (Fig. 6), fue probado con compañeros de la comunidad universitaria, donde se observó el comportamiento al utilizarlo, es decir, la aceptación que se tenía ante las actividades propuestas. Además de ser presentado bajo una institución destinada a la rehabilitación física de los deportistas de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde fue observado y evaluado.



Fig. 6 Modelo funcional completado

En la retroalimentación que se obtuvo, se analizaron puntos importantes como la necesidad de implementar un sistema de movimiento especial para el pulgar. Se consideró que el sistema actualmente es adaptable a la etapa donde los pacientes requieren hacer sus ejercicios sin supervisión del especialista, superando ya la etapa donde requieren de ayuda para realizar dichos movimientos.

#### V. CONCLUSIONES

A través de la implementación de una instrumentación es posible darle valor agregado los ejercicios terapéuticos para recuperar la movilidad total o parcial de la mano.

El desarrollo del hardware permite la implementación como terapia ocupacional, pues el desarrollo de nuevos juegos beneficia la diversidad de actividades.

La gamificación permite cambiar la experiencia de las personas en el ámbito de la rehabilitación, bajo algunos aspectos psicológicos que se presentan en los juegos de video y de esta forma hacer que la actividad se vuelva más atractiva.

No es posible deslindar al factor humano en la rehabilitación de la persona, dadas las etapas de recuperación que deben ser superadas gradualmente por los pacientes, por lo que es necesario la evaluación periódica de un especialista que analice los datos recopilados.

#### RECONOCIMIENTOS

Agradezco a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Carolyn Kisner and Lynn Allen Colby, *Ejercicio terapéutico. Fundamentos y técnicas*. Barcelona, España: Paidotribo, 2005.
- [2] Carrie M. Hall, *Ejercicio Terapeutico, Recuperación Funcional*. Badalona, España: Editorial Paidotribo, 2006.
- [3] J.M. Pastor Vega, F. Sendra Portero M. Martínez Morillo, *Manual de Medicina Física*, Primera ed. Madrid, España: Harcourt Brace, 1998.
- [4] © Amputee Coalition. (2007, Septiembre) Aprehendiendo la importancia de las manos. [Online]. [http://www.amputee-coalition.org/spanish/inmotion/nov\\_dec\\_06/our\\_hands.html](http://www.amputee-coalition.org/spanish/inmotion/nov_dec_06/our_hands.html) [Fecha de consulta: Marzo, 2014]
- [5] A. Wayne Vogl, Adam W. M. Mitchell Drake, *Gray's Anatomy for Students Richard*, 2nd ed. Filadelfia, EUA: Elsevier Health Sciences, 2009.
- [6] Claudio H. Taboadela, *Goniometría Una herramienta para la evaluación de las incapacidades laborales*, Primera ed. Buenos Aires, Argentina: Asociart SA, 2007.
- [7] Gamificación S.L. (2013) Qué es la Gamificación. [Online]. Disponible en: <http://www.gamificacion.com/que-es-la-gamificacion/> [Fecha consulta: Mayo, 2014]
- [8] Juan José Igartua Perosanz Diego Rodríguez de Sepúlveda Pardo. (2012, Octubre) Creación y validación de una escala de motivos para videojugar. [Online]. Disponible en: <http://campus.usal.es/~comunicacion3punto0/comunicaciones/039.pdf> [Fecha consulta: Mayo, 2014]
- [9] Minhua Ma, Kamal Bechkoum "Serious games for movement therapy after Stroke" Systems, Man and Cybernetics, 2008.
- [10] Tyromotion GmbH. (2010) AMADEO® -FINGERS IN MOVEMENT. [Online]. <http://tyromotion.com/en/products/amadeo/overview> [Fecha de consulta: Marzo, 2014]
- [11] Hocoma. (2012) ARMEO®BOOM - OVERHEAD SLING SUSPENSION SYSTEM. [Online]. <http://www.hocoma.com/products/armeo/armeoboom/> [Fecha de consulta: Marzo, 2014]