

Sistema de Rehabilitación Interactiva con Kinect

A. Montes-Alonso¹, E. Torres-Baez¹, E. Flores-García², R. de León-Lomeli³, E. González-Galván³.

1 Ingeniería Mecatrónica, Instituto Tecnológico de San Luis Potosí Av. Tecnológico, S/N Col UPA, Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. Mex. aldo.montes@outlook.com, edgar.torres.baez@outlook.com

2 Instituto Tecnológico de San Luis Potosí Av. Tecnológico, S/N Col UPA, Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. Mex. efren.flores@itslp.edu.mx

3 Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma De San Luis Potosí, México, e-mail: egonzale@uaslp.com

Resumen— De acuerdo a datos proporcionados por INEGI, más de cinco millones de personas tienen algún tipo de discapacidad. El mayor porcentaje de discapacidad en adultos se debe a derrames cerebrales. El presente proyecto plantea una alternativa a la terapia tradicional mediante la implementación de un sistema de medición motriz como herramienta para rehabilitación de extremidades superiores basado en el dispositivo Kinect de Microsoft. Se estudia la aplicación de distintos ejercicios terapéuticos para pacientes sometidos a rehabilitación y que han padecido accidentes cerebrovasculares. Dependiendo de la movilidad o daño del paciente se proponen distintos ejercicios de terapia que ayudarán a mejorar el rendimiento y movilidad en la parte lesionada.

I. INTRODUCCIÓN

En la República Mexicana de acuerdo a estadísticas obtenidas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la distribución porcentual de la población con discapacidad es de 5, 739,270 personas, de los cuales el 16.3% es de nacimiento, 39.4% enfermedad, accidente 14.9%, edad avanzada 23.1%, otra causa 7.6% y no especificada 2.1%, los porcentajes pueden no sumar el 100%, ya que se contabiliza a personas que tienen más de alguna discapacidad por más de una de las causas mencionadas[1].

Los accidentes cerebrovasculares son una de las principales causas de discapacidad adquirida en todo el mundo. En EE. UU. suceden alrededor de 795,000 accidentes cada año. De los casos de supervivencia el 70% quedarán con algún tipo de discapacidad y requerirán terapia de rehabilitación. El gobierno de este país gastó 73.7 billones de dólares en 2010 para la rehabilitación de los seis millones de sobrevivientes discapacitados [2].

En nuestro país, la terapia es presencial en el centro de rehabilitación, donde los pacientes ejecutan los ejercicios adecuados a sus problemas motores, con la finalidad de que el paciente mejore el funcionamiento y la movilidad en las extremidades lesionadas. Cabe resaltar que el número de terapias que se ofrecen semanalmente a los pacientes no es suficiente, ya que existe sobredemanda de las instalaciones.

Algunas enfermedades como las de tipo neuromuscular pueden tratarse para aumentar las capacidades funcionales, en estos casos es común que algunos pacientes requieran diariamente de un terapeuta para la asignación de ejercicios.

Con el objeto de mejorar el proceso de terapia y dar una retroalimentación y seguimiento del avance obtenido por el paciente, el presente trabajo plantea el desarrollo de una herramienta de rehabilitación basada en la interacción del paciente con juegos terapéuticos empleando el dispositivo Kinect.

Actualmente, ya existen diferentes sistemas de rehabilitación basados en el dispositivo Kinect, tales como: Toyra, VirtualRehab e Ixchel. A diferencia de estos sistemas, el presente trabajo plantea el desarrollo de una herramienta de rehabilitación basada en software libre. Permitiendo así disminuir el costo del sistema y añadiendo un historial clínico del paciente. De manera que el terapeuta pueda evaluar el desempeño y progreso del paciente. El sistema se enfocará en atender la rehabilitación de personas con discapacidades motrices en las extremidades superiores.

II. METODOLOGÍA

A. Movimientos empleados en la rehabilitación de extremidades superiores.

Antes de describir el desarrollo de ejercicios terapéuticos para rehabilitación de extremidades superiores, es necesario mencionar brevemente algunas terminologías clínicas para la descripción de estos movimientos.

Los movimientos de flexo-extensión de hombro se efectúan en el plano sagital en torno a un eje transversal (ver Fig. 1):

1. Extensión: movimiento de poca amplitud, de 45 a 50°.
2. Flexión: movimiento de gran amplitud, 180°, [6] [7].

La abducción-aducción de hombro está conformada por dos etapas (Fig. 2). La abducción es el movimiento que aleja al miembro superior del tronco, se realiza en un plano frontal en torno al eje ante posterior. La amplitud de la abducción alcanza los 180°, el brazo queda vertical por encima del tronco. La abducción se lleva a cabo desde la posición anatómicamente en el plano frontal, sin embargo, de esta manera son mecánicamente imposibles de realizar debido a la presencia del tronco, por ello, desde el punto de vista anatómico, la aducción no es factible si no se asocia con una extensión, en cuyo caso se logra una aducción muy leve. Así mismo también se puede asociar con una flexión, en cuyo caso la aducción alcanza entre los 30° y los 45°, [6][7].

El codo es una articulación cuya construcción se puede disociar a su vez de tres articulaciones más, las cuales están envueltas en una sola cápsula. Esta compleja anatomía permite que se ejecuten los movimientos de flexión y extensión y de pronación y supinación en dos planos: el sagital y el transversal, respectivamente (ver Fig. 3 y 4). El movimiento de flexo-extensión de la articulación del codo, al igual que el hombro, se lleva a cabo sobre el plano sagital, dicho movimiento se realiza a través de un desplazamiento y rodadura de las superficies articulares, el rango de amplitud es de 0° a 150° . A pesar del amplio rango de movimiento que posee el codo, solo se suelen exigir el uso de 100° de flexión en actividades cotidianas [6] [7].

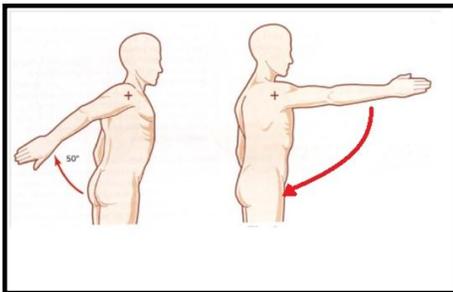


Fig. 1. Flexo-extensión de hombro

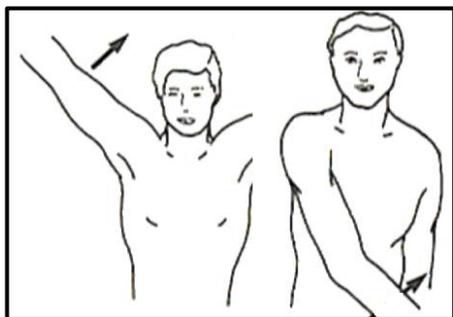


Fig. 2. Abducción- Aducción de hombro

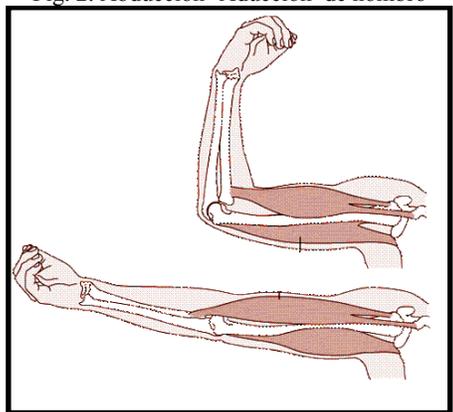


Fig. 3. Flexión- extensión de codo

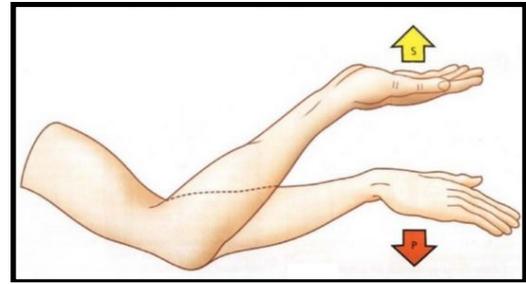


Fig. 4. Supinación y pronación de codo

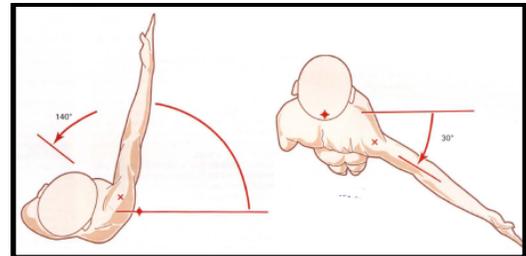


Fig. 5. Rotación externa e interna de hombro

El movimiento de rotación externa-interna, se compone también de dos variantes: Interna: Desde una posición de flexión de codo, en un plano transversal, se realiza cuando el brazo se acerca al tronco, Este movimiento se detiene a los 30° , por el choque de masas, pero si el movimiento continua se llega al límite máximo de 140° . Externa: Desde una posición de flexión de codo, en un plano transversal, el brazo se aleja del tronco alcanzando una amplitud máxima de 30° , ver Fig. 5 [6], [7].

B. Características del dispositivo Kinect®

Kinect es un dispositivo de control de movimiento desarrollado por Microsoft para su uso en videojuegos con la consola Xbox 360 (Fig. 6). A continuación se describen sus características y el análisis de incertidumbre.

El dispositivo cuenta con una cámara RGB encargada de capturar video a color con una resolución de 640×480 a 30 fps. Posee además un arreglo de cuatro micrófonos para tener la opción de realizar comandos por voz para el control de alguna actividad con el dispositivo. El ángulo de visión de la cámara de Kinect es de 43° en vertical, mientras que en horizontal es de 57° , utiliza un motor de inclinación vertical el cual le proporciona un ángulo de $+27^\circ$ o -27° de visión, [3]. Cuenta con sensores y emisores de infrarrojo encargados de obtener mediciones de profundidad. El principio de funcionamiento se basa en reflexión de un pulso infrarrojo cuyo tiempo de reflexión es proporcional a la distancia del objeto donde rebota.

Una vez localizado el objetivo, internamente se genera un arreglo de bytes donde almacena la posición de la persona frente al dispositivo. Al reconocer a la persona, Kinect identifica veinte juntas, los cuales son los puntos más flexibles del cuerpo como manos, codos, rodillas,

hombros, cabeza, tobillos, etc. Esta matriz de información se refresca cada segundo, permitiendo así obtener más información del movimiento de cada junta.

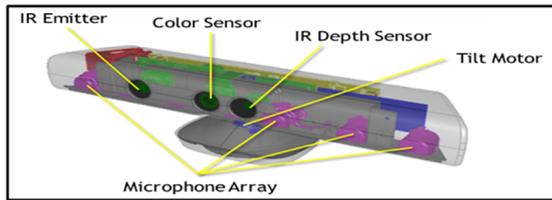


Fig. 6. Componentes de Kinect.

C. *Análisis de precisión del Kinect®.*

Parte del estudio realizado consistió en realizar pruebas para poder determinar la precisión del dispositivo Kinect®. En [4] se presenta un estudio sobre este tema y su comparación con otros sistemas. El análisis se realiza mediante el seguimiento de las articulaciones humanas en movimiento.

A diferencia del estudio anterior, en el presente trabajo las pruebas se realizaron sobre un maniquí (ver Fig. 7), esto con el objeto de que detectara la figura humana y que además este se mantuviera estático durante los periodos de pruebas para eliminar errores por cambio de posición. Se lograron detectar las veinte juntas o puntos más flexibles del cuerpo humano, la adquisición de datos se realizó tomando en cuenta el tiempo de adquisición y la distancia entre el sensor y el maniquí.

Se almacenaron aproximadamente de 10, 000,000 datos por cada una de las cinco muestras obtenidas. A estos datos se les aplicó el método de desviación estándar de la media [5] sobre las veinte juntas para determinar la precisión del dispositivo dando como resultado $\pm 1.45 \times 10^{-5}$ m. De acuerdo a [4] el margen de error es muy pequeño y muestra que Kinect® es un instrumento de medición adecuado para uso en terapia de rehabilitación en problemas motrices.

Los datos obtenidos son almacenados en una base de datos generada con MS SQL Server®¹, aquí se almacena la información de los veinte puntos durante el periodo de prueba. Estos datos se emplean para determinar la trayectoria que sigue el paciente durante la terapia.

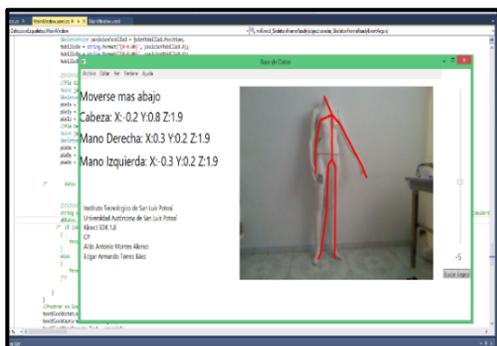


Fig. 7. Pruebas realizadas sobre un maniquí.

III. DESARROLLO DEL SISTEMA DE REHABILITACIÓN

El desarrollo de la terapia se realizó en el software Unity3D®, en su versión 4.3, mediante esta versión se pueden crear/developar videojuegos en diferentes plataformas (iOS®, Android®, XBOX 360®, PlayStation 3®, Wii®, etc). El entorno gráfico, menús, paisajes, personajes, etc. se desarrollaron con el software Inkscape™.

Para el desarrollo de este sistema de pruebas, se empleó Visual Studio en su versión Express®, MS SQL Server®, Inkscape™, así como Unity3D® todos de libre distribución. Para el desarrollo de la terapia se diseñaron objetos en Inkscape™ y se exportaron a Unity3D®, esto es agregando el escenario del juego, y objetos de referencia para su manipulación así como la edición del personaje.

El método de terapia propuesto consiste en completar trayectorias que inducen el movimiento del brazo, hombro y codo. Este movimiento es detectado por los sensores de Kinect® que envía la información a la base de datos una vez que la trayectoria ha sido completada. Algunas de las trayectorias propuestas para terapias de rehabilitación se muestran en la Fig. 8. Los movimientos que se atienden con la realización de esta terapia son: flexión, abducción, aducción y rotación interna de hombro y flexión, extensión y pronación de codo. Apoyados siempre por terapeutas profesionales, y de acuerdo al grado de discapacidad del paciente, se determina el número de repeticiones que el paciente tendrá que realizar durante su periodo de rehabilitación. Al completarlo se muestran los datos del paciente recolectados por las juntas de Kinect® además de las estadísticas de avance, lo que permitirá determinar el siguiente paso en la rehabilitación.

Las pruebas al sistema desarrollado han mostrado un adecuado movimiento de las juntas que representan los músculos por rehabilitar. Actualmente se trabaja en conjunto con el Centro de Rehabilitación y Educación Especial (CREE) de San Luis Potosí para la mejora del prototipo y su futura aplicación en pacientes.

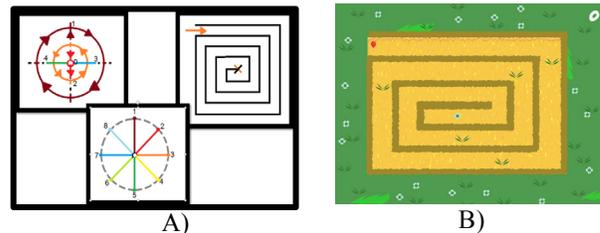


Fig. 8. A) Trayectorias propuestas para terapias de rehabilitación.

B) Imagen de pantalla de la terapia con Kinect

En la Fig. 9 se presentan los primeros resultados de toma de datos en pacientes sanos. En esta se muestran las mediciones

tomadas por Kinect para las juntas del hombro, codo y muñeca de acuerdo a la trayectoria propuesta (ver Fig. 8B). Puede observarse que la junta que presenta menor desplazamiento es la del hombro, mientras que la junta de muñeca es la que tuvo mayor avance en el ejercicio. Así mismo, se aprecia que el movimiento en muñeca es que sigue más fielmente el trazo propuesto en un inicio.

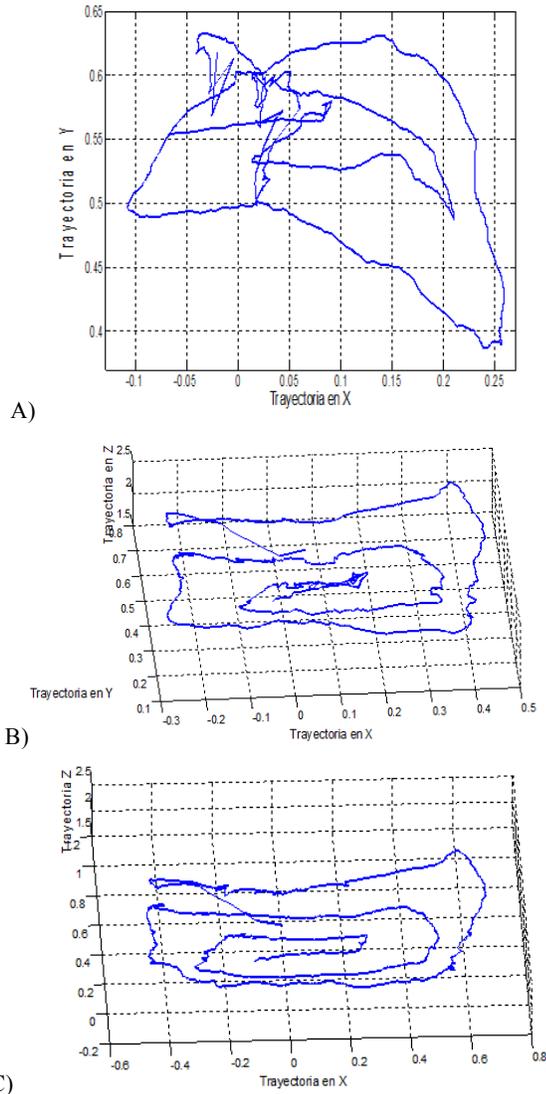


Fig. 9. A) Gráfica de lectura de Kinect para hombro de paciente sano. B) Gráfico de lectura de trayectoria en codo. C) Gráfico de trayectoria en muñeca.

VII. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se plantea el desarrollo de un sistema para realizar terapia de rehabilitación en extremidades superiores con la ayuda del dispositivo Kinect. Como primer paso se determinó mediante la desviación estándar que el dispositivo tiene la precisión adecuada para usarse como instrumento de medición. El ejercicio terapéutico se diseña tomando en cuenta los diferentes movimientos de las extremidades superiores. El dispositivo Kinect realiza la lectura de los movimientos del paciente mientras la interfaz gráfica del sistema le indica al paciente el tipo de movimiento que debe hacer de acuerdo a la rehabilitación sugerido al paciente. Adicionalmente, el sistema posee una base de datos que permite registrar los tiempos y trayectorias para llevar el seguimiento del progreso del paciente. El sistema se encuentra en fase de desarrollo para añadir más ejercicios. En esta primera etapa solamente ha sido probado en pacientes sin discapacidad, y en una segunda etapa será aplicado en pacientes discapacitados, esto en colaboración con los terapeutas del CREE.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma De San Luis Potosí y al Centro de Rehabilitación y Educación Especial de San Luis Potosí por las facilidades otorgadas.

REFERENCIAS

- [1] <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/LeerArchivo.aspx?ct=27501&c=27303&s=est&f=2>, Discapacidad, Población con limitación en la actividad y su distribución porcentual según la causa para cada tamaño de localidad y tipo de limitación.
- [2] Dr. Neville Hogan. Plenaria de apertura del XXXV Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica, San Luis Potosí, México Septiembre 2012
- [3] <http://msdn.microsoft.com/en-s/library/hh855347.aspx>, Microsoft SDK Library.
- [4] Stepan Obdrzalek, Gregorij Kurillo, Ferda Ofli, Ruzena Bajcsy, "Accuracy and Robustness of Kinect Pose Estimation in the Context of Coaching of Elderly Population" Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE.
- [5] John R. Taylor, "An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements", University Science Books, 1996.
- [6] Juan M. Ibarra Zannatha, Rodrigo Mallen Mendoza CINESTAV-IPN, Luis E. Rodríguez Cheu, Wilson A. Sierra Arévalo Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Gravito (ECI). Uso de Técnicas de Visión, Robótica y Realidad Virtual en el Desarrollo de Sistemas para Rehabilitación Neuromotriz. Octubre 2013.
- [7] M. Nordin, V. H. Frankel, Basic Biomechanics of Musculoskeletal System, 3rd ed., Lippincot Williams & Wilkings, 2001
- [8] <http://unity3d.com/legal/eula>
- [9] <http://www.inkscape.org/en/about/trademark-policy/>