



Integración de una Interfaz de Realidad Aumentada para Estimulación Visual de los Usuarios en Sistemas Robóticos para Terapia Ocupacional

L.J. Hernández Sierra¹, M.O. Mendoza Gutiérrez¹, I. Bonilla Gutiérrez¹

¹Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Av. Salvador Nava s/n, Zona Universitaria, San Luis Potosí, S.L.P. 78290 México

Resumen—El objetivo de este trabajo es el desarrollo e integración de una interfaz de realidad aumentada, para ser utilizada en un futuro como interfaz gráfica de usuario en sistemas robóticos para rehabilitación de hombro y codo. Esta interfaz se presenta como una herramienta complementaria de estimulación visual para la recuperación cognitiva del paciente en tareas de terapia ocupacional. El sistema permite almacenar información acerca de las trayectorias seguidas por el usuario durante las sesiones de terapia para así crear un expediente personalizado y, después de varias sesiones, observar y cuantificar el grado de avance del mismo. Los resultados experimentales presentados en este trabajo, representan una etapa inicial de validación de la funcionalidad del sistema utilizando sujetos sanos, pero que permitieron conocer la adecuada capacidad de inmersión del sistema y garantizar la estimulación visual de los usuarios dentro de entornos cotidianos e integrando objetos virtuales con los que pueden interactuar.

Palabras clave—realidad aumentada, rehabilitación, terapia ocupacional, videojuego.

I. INTRODUCCIÓN

Según el informe mundial sobre discapacidad publicado en el 2011 por la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente el 15% de la población mundial vive con algún tipo de discapacidad [1]. Como lo muestran las cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la discapacidad está presente en el 5.1% de la población, de los cuales 45.3% tienen alguna discapacidad motriz [2].

La discapacidad motriz es un problema de salud que afecta a una gran parte de la población sin importar edad o condición social. La rehabilitación de los pacientes con este tipo de discapacidad es primordial para su reincorporación a la vida laboral y/o social. Una opción para rehabilitar a estas personas es la terapia ocupacional, la cual consiste en un conjunto de actividades que promueven la salud, el bienestar y la rehabilitación de personas que tienen o están en riesgo de desarrollar enfermedades o discapacidades que limiten su participación en sus actividades cotidianas. Ésta trata de abordar los aspectos sensoriales, físicos, cognitivos y psicosociales de las actividades de interés de la persona, con características de la propia discapacidad [3] [4].

Los videojuegos son medios que proporcionan emoción, estimulación, motivación, desafío, etc. Tal motivación puede ser altamente benéfica en el contexto de la rehabilitación, ya que el paciente tendrá una estimulación positiva al mismo tiempo que ejercita su maniobrabilidad, lo que conlleva a una mejora en su condición [5].

Los sistemas interactivos basados en realidad aumentada (AR, por sus siglas en Inglés) pueden ser de gran utilidad para el proceso de rehabilitación. En primer lugar, estos sistemas consisten en una interfaz de usuario que ofrece un componente motivacional al integrar la fusión de objetos virtuales con objetos reales, estimulando visualmente a los pacientes para realizar los ejercicios de terapia satisfactoriamente, distrayéndolos así del dolor potencial que pueden experimentar durante tales ejercicios. En segundo lugar, los sistemas pueden ser utilizados en el hogar del paciente, lo que conlleva a una disminución en la frecuencia de visitas a clínicas de rehabilitación [6] [7].

Diversos grupos de investigación han desarrollado sistemas de rehabilitación basados en AR [5-8]. En [5] se describe un sistema de rehabilitación de miembro superior, el cual utiliza marcadores predeterminados para que, al utilizar los lentes, el paciente pueda observar en dichos marcadores objetos virtuales que puede manipular para realizar diversas actividades. En [7] se diseñó un sistema de rehabilitación utilizando AR que realiza el reconocimiento de gestos haciendo uso de la herramienta Kinect™ de Microsoft®. Mientras que en [8] se presenta el desarrollo de una interfaz de realidad aumentada en conjunto con un sistema háptico para estimular a los pacientes al poder sentir fuerzas que simulan la interacción con objetos virtuales.

En este contexto, este artículo presenta una interfaz basada en AR que no requiere el uso de marcadores, como en la mayoría de los trabajos previos, sino que detecta los movimientos de la mano del usuario para que éste pueda interactuar con los objetos virtuales. Adicionalmente, el uso de AR permite que el usuario se encuentre dentro de su entorno cotidiano real y agregar sólo algunos objetos virtuales, para desarrollar tareas de su vida diaria que permitan reintegrarlo a sus actividades cotidianas de manera más natural y estimular su participación activa, a la vez que se obtiene información cuantificable que permita caracterizar sus movimientos; buscando que a futuro sea una herramienta de apoyo para médicos y terapeutas, en donde el paciente pueda realizar los ejercicios desde casa y el especialista pueda revisar los resultados y evaluar su evolución de manera cuantitativa.

II. METODOLOGÍA

El sistema fue desarrollado con Unity, un software diseñado para facilitar la creación de videojuegos destinados a diferentes plataformas (Android, iOS, Windows, etc.) bajo un lenguaje de programación C#. Este software fue seleccionado debido a su compatibilidad con los lentes de

AR Meta 1, los cuales incluyen una cámara RGB y un sensor de proximidad infrarrojo que tienen la capacidad de detectar el movimiento de las extremidades superiores (mano, dedo y puño) y que representan un punto de referencia para ubicar los componentes del entorno virtual.

La conexión entre Unity y los Meta 1 hace posible que se creen objetos en realidad aumentada y así, mediante la manipulación de la clase MetaBody que está incluida en el SDK de los lentes, puedan tener diferentes atributos; por ejemplo, pueden rotarse, agrandarse o reducirse, fijarse en un marcador definido o moverse dentro del campo visual.

El campo de visual determina cuál es el área de visión que el usuario puede percibir [9]. Para estos lentes, el área de visión es de 23° con 15 cm de ancho y una resolución de 960 × 540 (480 × 540 por ojo, aunque se puede aumentar a 1280 × 720) píxeles. La distancia óptima para la creación de los objetos virtuales es de alrededor de 35-40 cm. Todos estos datos pueden observarse en la Fig. 1, donde la Zona Stereo es la región ideal para colocar los objetos virtuales y la distancia interpupilar (IPD, por sus siglas en Inglés), oscila entre 62.3 y 64.7 mm.

A. Diseño de los videojuegos

Para el primer juego se crearon 8 esferas ordenadas alrededor de una esfera central, la cual cuenta con el atributo de poder moverla. El objetivo de este juego consiste en que el usuario debe “tomar” la esfera central, moverla hacia las otras esferas (que cambian de color cuando son alcanzadas) y regresar al centro, tratando de seguir una trayectoria recta.

El segundo juego contiene el mismo arreglo de esferas que el primer juego, pero ahora el objetivo es “tomar” una esfera que se encuentra en la parte superior del área de visión del mismo y pasar por las demás esferas siguiendo una trayectoria circular en sentido anti horario y terminar en el mismo punto.

Para el almacenamiento de los datos generados se creó un programa que detecta cuando el paciente o sujeto “toma” alguna de las esferas y la mueve dentro del campo visual, para así guardar la posición en un archivo de texto. La

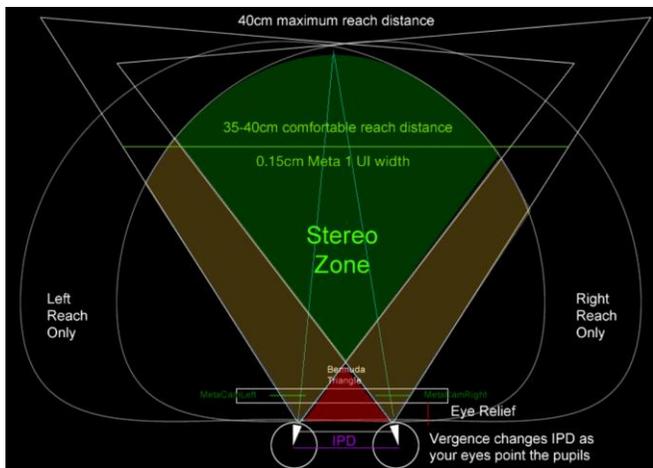


Fig. 1. Campo visual de los lentes Meta 1 [9].

frecuencia de muestreo es de 30 datos por segundo. Mientras no se esté “sujetando” alguna de las esferas, no se guardará ninguna posición en el archivo.

B. Recolección y análisis de datos

Para el primer juego se optó por tomar el tiempo en que el sujeto de prueba llegaba a cada uno de los puntos de control (esferas que están fijas formando un círculo) con la esfera que tiene el atributo para poder “sujetarla”.

Para el segundo juego se analizaron los tiempos en que los sujetos completaban la vuelta del círculo, utilizando la misma metodología que en el primer juego. De igual forma, se calculó el error de las trayectorias seguidas por los sujetos en comparación con la trayectoria “ideal”. Posteriormente se calcularon la media y desviación estándar de dichos errores. El objetivo de la recolección y cálculo de estos datos es obtener una caracterización del desempeño de cada uno de los sujetos. Cabe señalar que el movimiento del brazo del sujeto es libre, ya que no interactúa con ningún dispositivo u objeto real, por lo que la trayectoria detectada por la cámara es realizada completamente por el usuario.

C. Validación experimental

En esta etapa inicial de validación sólo se busca evaluar la funcionalidad del sistema, después de su integración y puesta a punto, así como conocer la opinión de los usuarios del sistema. Participaron 10 voluntarios sanos de entre 18 y 22 años que fungieron como sujetos de prueba, debido a que al no contar con un protocolo aprobado para experimentar con personas con discapacidad, sería éticamente incorrecta la validación experimental del sistema.

III. RESULTADOS

En la Fig. 2 se observa la herramienta en funcionamiento con un sujeto de control. Debido a la naturaleza del juego, se espera que sea útil para rehabilitación tanto del codo como del hombro. Pero su función principal es estimular la participación activa de los usuarios. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos



Fig. 2. Sujeto de prueba haciendo uso de la herramienta de AR.

del primer juego al aplicarse la prueba a los sujetos de control, se aprecia que los tiempos de llegada a los puntos de control (PC1, PC2, ..., PC8) son muy similares, con cambios pequeños de fracciones de segundo.

Cabe señalar que el sujeto de prueba 8 fue categorizado como “patrón”, debido a que es un usuario frecuente de los lentes de AR y se considera que éste podría tener un mejor manejo del sistema, lo cual fue corroborado en los resultados obtenidos. Con la finalidad de realizar un análisis comparativo del desempeño de todos los sujetos, su comportamiento fue contrastado con el del sujeto 8.

Tal y como se observa en la Tabla 1, el sujeto 8 fue el que completó en menor tiempo la trayectoria predefinida. Se puede apreciar que los demás sujetos lo hicieron en periodos

de tiempo mayores. En particular, el tiempo realizado por el sujeto 5 es muy cercano al del sujeto 8, por lo que la experiencia en el uso de los lentes no influye de manera significativa en la funcionalidad del sistema. Mientras que el sujeto 9 completó la trayectoria en un tiempo mayor al de los demás sujetos. En la Fig. 3 se presentan las trayectorias seguidas por los sujetos 8, 5 y 9, respectivamente; como puede observarse, el sujeto 9 trata de realizar movimientos muy precisos y esto afecta la velocidad con la que realiza el seguimiento, mientras que los sujetos 5 y 8 sólo se concentran en alcanzar los puntos de control. Por lo tanto, el tiempo en el que se realiza el seguimiento de trayectorias solamente es útil para evaluar la agilidad de los usuarios.

TABLA 1.
RESULTADOS OBTENIDOS POR LOS SUJETOS DE PRUEBA PARA EL 1° JUEGO

| Sujeto | PC1 (s) | PC2 (s) | PC3 (s) | PC4 (s) | PC5 (s) | PC6 (s) | PC7 (s) | PC8 (s) | Suma (s) | Tiempo total de la prueba (s) |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|-------------------------------|
| 1 | 3.667 | 2.500 | 1.600 | 1.933 | 1.567 | 1.567 | 1.900 | 1.933 | 16.667 | 36.667 |
| 2 | 3.000 | 1.867 | 1.500 | 1.133 | 1.200 | 1.567 | 2.133 | 3.233 | 15.633 | 35.957 |
| 3 | 2.567 | 2.533 | 1.800 | 1.867 | 1.300 | 2.000 | 2.100 | 2.233 | 16.400 | 36.900 |
| 4 | 3.233 | 1.933 | 1.900 | 1.900 | 1.767 | 2.567 | 2.733 | 2.833 | 18.867 | 39.620 |
| 5 | 2.133 | 1.867 | 2.133 | 2.833 | 1.700 | 1.833 | 2.300 | 2.967 | 17.767 | 35.516 |
| 6 | 3.200 | 3.967 | 2.733 | 2.500 | 2.200 | 1.700 | 1.667 | 2.633 | 20.600 | 47.234 |
| 7 | 2.567 | 2.500 | 2.133 | 2.133 | 2.133 | 1.567 | 1.900 | 2.000 | 17.003 | 36.622 |
| 8 | 2.067 | 2.267 | 1.333 | 1.167 | 1.933 | 1.767 | 2.067 | 1.967 | 14.567 | 32.338 |
| 9 | 2.633 | 2.767 | 2.333 | 2.800 | 2.600 | 2.633 | 2.000 | 2.767 | 20.533 | 48.125 |
| 10 | 2.733 | 2.567 | 2.133 | 2.233 | 2.500 | 1.933 | 1.900 | 1.700 | 17.699 | 40.708 |

Por otra parte, en la Tabla 2 se muestran los datos estadísticos que arrojaron los resultados de validación del segundo videojuego. En esta tabla se observa que los sujetos 1, 7 y 8 tuvieron las medias de error más cercanas a cero, lo que demuestra que realizaron movimientos más precisos durante el seguimiento de la trayectoria. Con respecto al tiempo, los sujetos 8, 7 y 1 obtuvieron los mejores tiempos en completar la prueba. Por lo tanto, los mismos sujetos 1 y 7 son los que presentan los mejores desempeños al ser comparados con el sujeto 8 que fue nuevamente considerado como patrón. Por lo tanto, esta forma de cuantificar el desempeño de los usuarios resulta más adecuada. Los datos extraídos del sistema pueden ser procesados para hacer una caracterización entre los sujetos. Esto permitirá realizar una clasificación de las señales y generar una escala de medición cuantitativa para evaluar la evolución del usuario.

En la Fig. 4 se muestran las trayectorias de los sujetos 1, 7 y 8 tratando de seguir la trayectoria circular; se puede apreciar que el sujeto 7 no realizó un seguimiento muy preciso, sin embargo los sujetos 1 y 8 presentan comportamientos muy similares. Para este juego se puede

concluir que el sujeto 1 obtuvo el mejor desempeño en comparación con el sujeto patrón. Por lo tanto, la inmersión y estimulación brindada por el sistema permite a los usuarios obtener desempeños comparables a los de un usuario con mayor experiencia.

TABLA 2.
RESULTADOS OBTENIDOS POR LOS SUJETOS PARA EL 2° JUEGO

| Sujeto | Media del error (m) | Varianza del error (m) | Desviación estándar del error (m) | Tiempo total de la prueba (s) |
|--------|---------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 0.0108 | 6.9808x10 ⁻⁵ | 0.0084 | 22.8333 |
| 2 | 0.0209 | 3.0625 x10 ⁻⁴ | 0.0175 | 37.0667 |
| 3 | 0.0346 | 2.3735 x10 ⁻⁴ | 0.0154 | 48.7667 |
| 4 | 0.0439 | 8.2540 x10 ⁻⁴ | 0.0287 | 27.3333 |
| 5 | 0.0229 | 4.3511 x10 ⁻⁴ | 0.0209 | 32.8000 |
| 6 | 0.0199 | 1.9612 x10 ⁻⁴ | 0.0140 | 32.6333 |
| 7 | 0.0124 | 1.9544 x10 ⁻⁴ | 0.0140 | 21.1333 |
| 8 | 0.0156 | 9.8727 x10 ⁻⁵ | 0.0099 | 15.9667 |
| 9 | 0.0373 | 3.0455 x10 ⁻⁴ | 0.0175 | 29.2667 |
| 10 | 0.0256 | 3.8511 x10 ⁻⁴ | 0.0235 | 31.8667 |

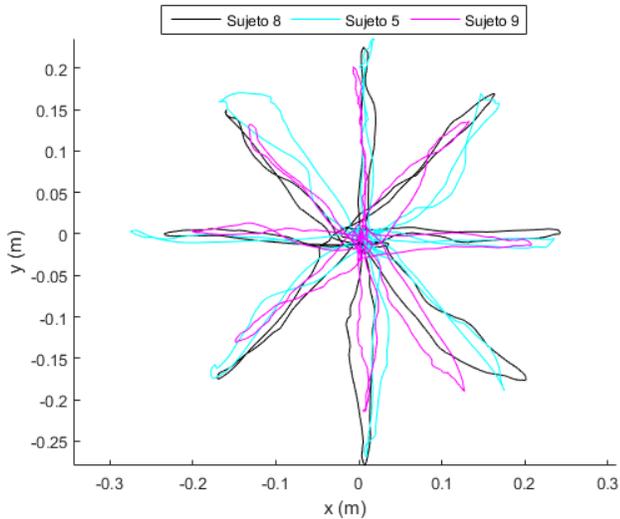


Fig. 3. Trayectorias de los sujetos 8, 5 y 9 en el primer videojuego.

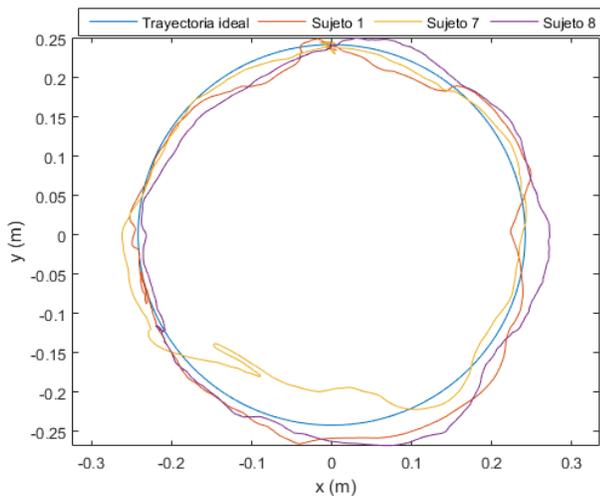


Fig. 4. Trayectorias de los sujetos 1, 7 y 8 en el segundo videojuego.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El presente proyecto se enfocó en la integración de una interfaz de realidad aumentada, que servirá en un futuro como una herramienta de estimulación durante la terapia de rehabilitación de personas con alguna discapacidad motora, con la finalidad de que los sistemas robóticos para rehabilitación sean más interactivos y atractivos para los pacientes. En esta primera etapa de desarrollo se validó que el sistema permite una adecuada inmersión del usuario para interactuar con objetos virtuales, dentro de su entorno cotidiano, sin la necesidad de alterar el escenario real incluyendo marcadores para el aumento de la realidad.

La interfaz desarrollada permite el monitoreo y registro de los movimientos y trayectorias que siguen los sujetos de prueba. Esto permitirá observar los avances motrices que alcanza el paciente durante el proceso de terapia de rehabilitación. Se propone realizar de 2 a 3 sesiones

semanales y, mediante las gráficas y datos estadísticos, poder analizar de manera cuantitativa la evolución del proceso de rehabilitación del paciente. Esto considerando que los juegos son de la misma naturaleza que los utilizados en estudios clínicos con sistemas robóticos de rehabilitación, por ejemplo, el MIT-Manus [10].

El diseño de los videojuegos de AR y su validación durante las pruebas experimentales se enfocó a los movimientos de circunducción del hombro, así como flexión y extensión tanto del codo como del hombro [11], que podrían integrarse en sistemas robóticos para extremidades superiores. Además, el almacenamiento de datos en los archivos de texto permite que el médico o terapeuta pueda estudiar y analizar la evolución del paciente al paso de las sesiones.

Como trabajo futuro se espera que se pueda escribir un protocolo que sea avalado por algún Comité de Ética para poder aplicarlo a pacientes con discapacidad de miembro superior y así poder evaluar el impacto de este sistema en el proceso de rehabilitación. Así como la integración de este sistema de realidad aumentada como interfaz gráfica de usuario de un sistema robótico para rehabilitación de extremidades superiores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] OMS. Discapacidades y Rehabilitaciones (17 de julio de 2017). *Atención médica y rehabilitación* [en línea]. Disponible en: <http://www.who.int/disabilities/es/>.
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (17 de julio de 2017). *Discapacidad en México* [en línea]. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx?tema=P>.
- [3] A.Y. Stringer, "Occupational Therapy" in *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology*, J.S Kreutzer, J. DeLuca, B. Caplan, Ed. New York: Springer, 2011, pp.1808-1809
- [4] S. Mulligan, *Terapia ocupacional en pediatría: procesos de evaluación*. Ed. Médica Panamericana, 2006.
- [5] J.W. Burke, M.D.J. McNeill, D.K. Charles, P.J. Morrow, J.H. Crosbie, and S.M. McDonough, "Augmented reality games for upper-limb stroke rehabilitation," in *Proc. 2nd. International Conf. on Games and Virtual Worlds for Serious Applications*, 2010, Braga, Portugal, pp. 75-78.
- [6] C.Y. Lin, and Y.M. Chang, "Interactive augmented reality using Scratch 2.0 to improve physical activities for children with developmental disabilities," *Research in developmental disabilities*, vol. 37, pp. 1-8, Feb. 2015.
- [7] A.E.F. Da Gama, T.M. Chaves, L.S. Figueiredo, A. Baltar, M. Meng, N. Navab, ... P. Fallavollita, "MirrARbilitation: A clinically-related gesture recognition interactive tool for an AR rehabilitation system," *Computer methods and programs in biomedicine*, vol. 135, pp.105-114, 2016.
- [8] C. Vidrios-Serrano, I. Bonilla, F. Viguera-Gómez and M. Mendoza, "Development of a haptic interface for motor rehabilitation therapy using augmented reality," in *Proc. 37th Annual International Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2015, Milan, Italy, pp. 1156-1159.
- [9] Manual de usuario Meta SDK 1.3.4.
- [10] L. Pignolo, "Robotics in neuro-rehabilitation," *Journal of Rehabilitation Medicine*, vol. 41, no. 12, pp. 955-960, 2009.
- [11] J. McLester, and P. St. Pierre, *Applied biomechanics: concepts and connections*. Wadsworth, Georgia, USA: Thomson, 2008, pp. 33-38.