

# Carpal Tunnel Syndrome Rehabilitation Through Force Feedback

V. H. Andaluz, C. Bustamante D., M. Silva S., M. Escudero V., P. J. Salazar

**Abstract**—The present paper proposes a carpal tunnel syndrome oriented system by means of the use of haptic devices with force feedback. The system, based on entertainment, handles different applications, as well as movements in a 3D graphic environment, which is devised with daily tasks that allow to develop skills and abilities to reduce the patient's affection. The system is designed with Unity3D along with Novint Falcon haptic device. In which, the patient interacts with the developed applications while receives force feedback, at the same time, the patient performs physiotherapeutic exercises that attack the affection in a proper manner to improve patient's health. Experimental results manifest system's validity, which generates necessary and efficient exercises for the process of carpal tunnel rehabilitation, besides, it deploys a human-machine interaction oriented to the development of physic therapies.

**Index Terms**— Carpal tunnel, rehabilitation system, force feedback.

## I. INTRODUCCIÓN

EN la actualidad, el desarrollo de aplicaciones y entornos virtuales permiten generar sistemas de rehabilitación para extremidades superiores basadas en el entretenimiento e inmersión del paciente con el medio [1], la incorporación de métodos tecnológicos como la realidad virtual y dispositivos hápticos a sistemas de salud, atraen la atención de investigadores y especialistas en el desarrollo de nuevas alternativas de medicina, lo cual, genera beneficios potenciales para la consecución de nuevos sistemas de rehabilitación [2][3].

De similar manera, en [4] se presenta la implementación y asociación de diferentes tipos de dispositivos tales como: Leap Motion, Oculus Rift y Novint Falcon con el fin de promover un sistema de rehabilitación con entretenimiento e inmersión total del paciente con la interacción de entornos, realidad virtual y realidad aumentada al instante del desarrollo de la terapia.

Las terapias físicas necesitan un punto de validación de su eficacia dentro de la medicina, por dicha razón, en la actualidad muchas técnicas de terapia son cuestionadas debido a su brusco mecanismo y forma de interacción; las terapias físicas necesitan un punto de validación de su eficacia dentro de la medicina, por dicha razón, en la actualidad muchas técnicas de terapia son cuestionadas debido a su brusco mecanismo y forma de interacción; las paciente en la consecución de objetivos y por su intermedio el desarrollo de la terapia en su totalidad, lo cual, genera mayor aprendizaje totalidad, y menor esfuerzo mental; en

la gran mayoría de métodos convencionales de rehabilitación gran parte de los pacientes no completa su ciclo de recuperación debido a cargas o fatigas mentales [6][7].

Las extremidades superiores presentan diferentes tipos de afecciones dentro de su composición ósea, membrana, o de tejidos debido a su movimiento continuo y contacto excesivo con el medio; dentro de las afecciones más comunes en las extremidades superiores se encuentra el Síndrome del Túnel Carpiano (CTS).

El Síndrome de Túnel Carpiano es un desorden provocado por la compresión del nervio medio desde la muñeca hasta la mano, su sintomatología es detectada mediante diagnóstico previo y sus principales causas son: diabetes, desorden de la tiroides, exceso de alcohol y artritis; en la actualidad la principal fuente de generación del CTS son los trabajos excesivos en el movimiento de los sistemas de motricidad fina. Los diseños ergonómicos y fabricación de soportes y muñecas en sistemas tecnológicos juegan un papel importante en momento de la prevención o generación del CTS [8].

La afección provocada por el CTS disminuye la productividad y calidad de vida de una persona al momento de desempeñar funciones en las que se requiere una leve fuerza o extensión de la muñeca [9]. Los ejercicios para este tipo de afección se los realiza mediante posturas de estiramiento y compresión de fuerza en la zonas de la muñeca, de esta manera se mejora la circulación dentro de los tejidos; por esta razón, los tratamientos no quirúrgicos son la primera opción al momento de ser detectado el CTS el cual se encarga de someter al paciente a sesiones continuas de rehabilitación en la cual se ejecutan ejercicios específicos para la zona de afección, los casos extremos de dolor y evolución de la enfermedad conlleva a intervenciones quirúrgicas, pero estas a su vez promueven tratamientos mucho más largos y costosos [8][10].

En este contexto el trabajo presenta un sistema de entretenimiento y rehabilitación basado en video juegos, el cual proporciona capacidades de interacción basadas en la inmersión y transparencia de un proceso ergonómico para generar la comodidad y respuesta requerida mediante el movimiento de objetos con diferentes fuerzas que generan ejercicios de rehabilitación para el síndrome de túnel carpiano. Hoy en día los sistemas de simulación muestran entornos complejos y dinámicos que se enfoca en el desarrollo de una herramienta de transmisión de fuerzas con entorno virtual capaz de interactuar con el paciente fundamentado en el entretenimiento y rehabilitación

como elementos esenciales de los nuevos sistemas de medicina y rehabilitación interactivas [11].

## II. ESTRUCTURA DEL SISTEMA

El sistema tiene el fin de proporcionar una interacción de realidad virtual, las aplicaciones desarrolladas en el software Unity 3D mediante un computador y la realimentación de fuerzas por medio del dispositivo Novint Falcon motivan al paciente a una rehabilitación de forma segura en beneficio al rendimiento de los movimientos y a mejorar la calidad de vida [12]. La Fig. 1 muestra el diagrama de bloques del sistema.

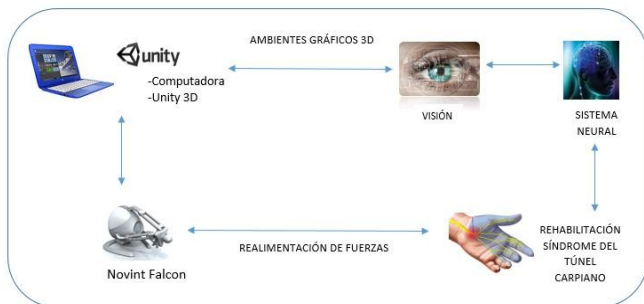


Fig. 1. Diagrama del sistema de rehabilitación

La interacción propuesta relaciona movimientos centrados en la rehabilitación del síndrome de túnel carpiano los cuales se encuentran inmersos en aplicaciones intuitivas de visualización para un control y desempeño eficiente del paciente. La Fig. 1 describe el flujo de interacción del sistema en el cual los ambientes gráficos observados por el paciente son analizados por el sistema neural para generar movimientos por realimentación de fuerzas impulsados por el dispositivo háptico, de esta manera se tiene un contacto directo con la parte de afección lo cual permite estimular los nervios y músculos de la zona de interés.

## III. DESARROLLO DEL SISTEMA

En esta sección se presenta la el desarrollo del entorno gráfico y la descripción del dispositivo háptico utilizado para la realimentación de fuerzas en el espacio.

### A. Entorno Gráfico

El medio desempeña una manipulación de los objetos virtuales en un ambiente real en el que el target interactúa con todo el entorno de la interfaz con el propósito de ayudar a mantener los músculos, tendones y articulaciones del paciente sanos [8]. En el sistema se identifican las características principales de la terapia de rehabilitación para el síndrome del túnel carpiano, con el fin de mejorar las habilidades de motricidad dependiendo de la función específica del entorno y de acuerdo a los movimientos concretos para tratar esta lesión en el paciente [2][5][7].

Las terapias asistidas son seleccionas a partir de: i) mejorar la fuerza muscular (e.g., tirar o mover objetos de diferente peso y tamaño); ii) mejorar la coordinación ojo-mano (e.g., la resolución de puzzles, laberintos); iii) aumentar la gama de movimiento (e.g., caucho de estiramiento); y por último iv)

aumentar la sensibilidad (e.g., tocar objetos con diferentes texturas) [2][13]. Por lo tanto, los ambientes gráficos son capaces de interactuar con el paciente, con el fin de evaluar los movimientos y la fuerza en el que la ejecución de las actividades resulta para disminuir los trastornos o aflicciones de la extremidad superior fina.

### B. Realimentación de Fuerzas

Los entornos virtuales presentan una interfaz capaz de generar realimentación de fuerzas en la zona afectada, cada uno de los impulsos realizados por el dispositivo háptico crean movimientos de tracción en la zona articular de la muñeca originando los ejercicios para le rehabilitación del síndrome de túnel carpiano; de similar manera, al momento de efectuarse dichos movimientos el paciente interactúa con el ambiente virtual, es decir, juega mientras de rehabilita. Los ejercicios terapéuticos son repetitivos y toman diferentes tipos de fuerza y posición en función a la interacción del entorno y la tarea que se encuentre realizado, lo cual genera motivación y entretenimiento eliminando la tediosa carga mental de una sesión de rehabilitación convenciones en un centro clínico.

Novint Falcon es un dispositivo capaz de generar fuerzas en el plano  $X-Y-Z$  del sistema de referencia móvil  $\langle R \rangle$  de magnitudes entre en rango de 0 a 2,5 [lbf]; su área de trabajo comprende una región esférica de 10 [cm] de radio. La mano de paciente se encarga de interactuar directamente con el extremo operativo del dispositivo háptico del cual recibe directamente fuerzas  $f_x$ ,  $f_y$  y  $f_z$  además de las posiciones  $P_x$ ,  $P_y$  y  $P_z$ , respecto al sistema de referencia  $\langle R \rangle$  que componen ejercicios de rehabilitación en la zona de lesión, el dispositivo se traslada adyacente la zona de afección para establecer fuerzas concéntricas. En tal virtud, la realimentación de fuerza presenta un rol importante en el desarrollo del presente método terapéutico debido a su generación de movimientos sincrónicos y específicos para la afección.

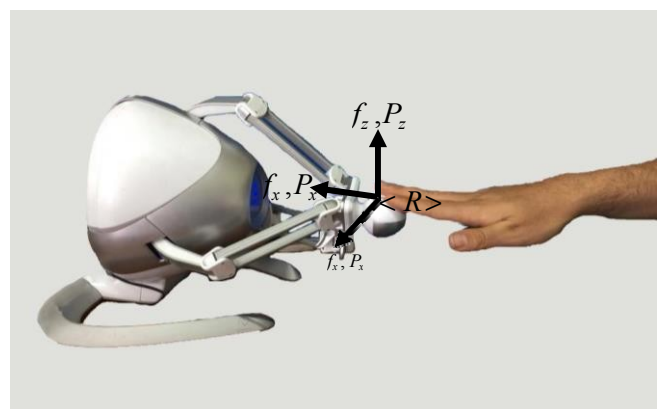


Fig. 2. Interacción Novint Falcon con la zona de afección

Las fuerzas son específicas en cada uno de los niveles de las aplicaciones con el fin de contribuir directamente a la recuperación de la afección sin generar daños colaterales en las extremidades en movimiento; las fuerzas ejercidas sobre los ejes  $X-Y-Z$  imparten sobre el área de afectación ejercicios básicos de flexión, extensión y agarre; las composición de

estos ejercicios originan la terapia necesaria para el síndrome de túnel carpiano, Fig. 2 representa la interacción del dispositivo háptico con la zona de afección para generar los ejercicios terapéuticos necesarios para la rehabilitación. Los movimientos no generan rotación debido a que los grados de libertad del dispositivo háptico no lo permite.

#### IV. SESIÓN DE REHABILITACIÓN

El desarrollo de ejercicios orientados hacia la recuperación del túnel carpiano encuentra diferentes tipos de entrenamientos aplicados a pacientes en sesiones de rehabilitación tradicional desarrollada en centros médicos. La estructura fisiológica compleja de la muñeca necesita de ejercicios con cierto grado de inclinación y fuerza, Fig.3 detalla los ejercicios básicos en los cuales se desarrolla la rehabilitación del síndrome de túnel carpiano; (a) detalla la posición neutral superior de la mano a una inclinación de 90 grados y (b) describe la posición neutral horizontal de la mano; estos ejercicios se los realiza de forma repetitiva con el fin de mejorar la circulación en los tejidos y zonas de la muñeca para eliminar de manera considerable la sintomatología del túnel carpiano [9].

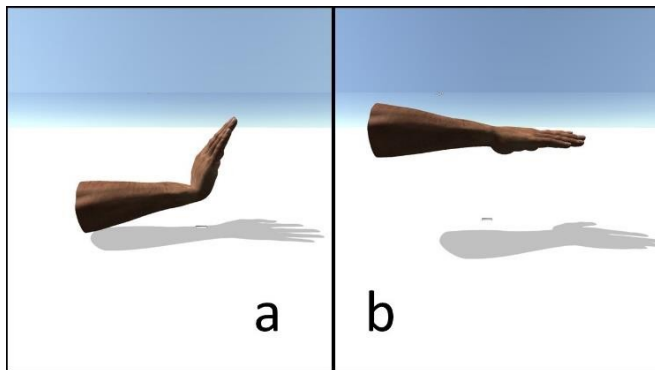


Fig. 3. Ejercicios básicos para rehabilitación de túnel carpiano

La interacción con la muñeca o zona de afección se alcanza mediante el control adecuado de posición en la traslación y aplicación de fuerzas, dichas posiciones están compuesta de diferentes movimientos a diferentes fuerza y magnitud dentro del desarrollo de la aplicación. El principal objetivo de los ejercicios es promover recuperación y adiestramiento del medio nervio Carpal a través del funcionamiento de del ligamento Carpal [9]. Los ejercicios y métodos no quirúrgicos se componen de diferentes ejercicios capaces de generar una rehabilitación total, en análisis de ejercicios de estiramiento, así como la correcta realización de las instrucciones de rehabilitación minimizan de manera considerable los trastornos musculoesqueléticos de la mano y por este medio Carpo [8].

Los ejercicios para el túnel carpiano son números, pero dentro de ellos existen métodos y movimientos eficaces dentro de la sesión de rehabilitación, en Fig. 4 se describe los principales ejercicios de rehabilitación utilizados en los métodos convencionales de túnel carpiano en los cuales se representa: (a) palma extendida a la izquierda, (b) palma

extendida a la derecha, (c) flexión de puño y palma y (d) extensión de brazos, dedos y palma [8].

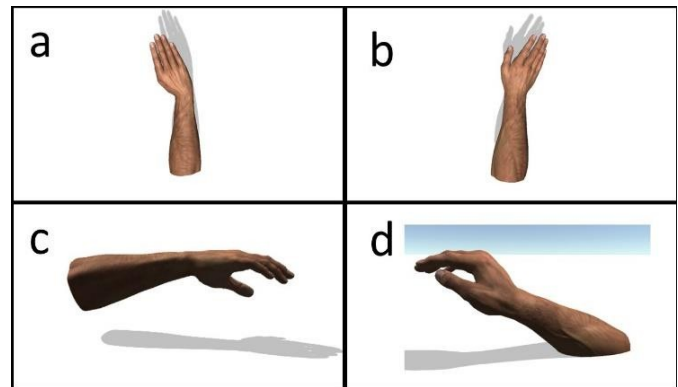


Fig. 4. Ejercicios de (a) palma extendida a la izquierda, (b) palma extendida a la derecha, (c) flexión de puño y palma y (d) extensión de brazos, dedos y palma

Todos estos ejercicios permiten el alcance de mayor rango de movimiento, así como deslizamiento manual para una sesión completa de rehabilitación. Los principales ejercicios consisten en el movimiento plano y vertical de la muñeca, donde con cada uno de ellos se describe un mejor comportamiento y recuperación del paciente. Fig. 5 describe los movimientos (a) vertical ascendentes y (b) vertical descendente donde se tiene un mayor rango de cobertura en la rehabilitación del CTS [8].

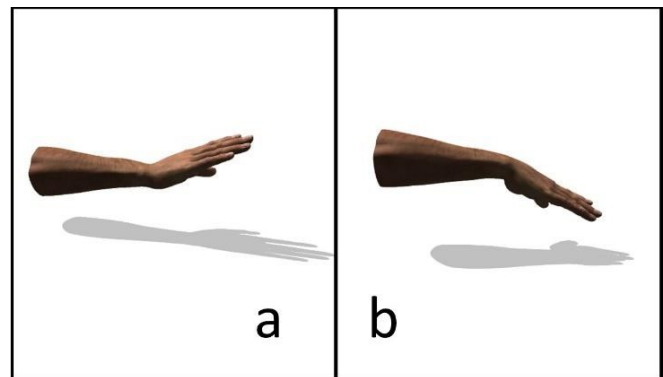


Fig. 5. Movimientos (a) vertical ascendentes y (b) vertical descendente.

Los movimientos y ejercicios descritos se originan en el video juego, el cual proporcionan una retroalimentación de fuerzas con diferente posición y magnitud, así como la calidad de la actuación para fomentar la participación y la concentración, cada juego está diseñado para ejercer un parámetro de movimiento de la mano en alcance, velocidad de movimiento, o fortalecimiento de las zonas de afección [14]. La efectividad de la terapia se enfoca en cautivar la atención del paciente mediante la inclusión de objetos visuales en el juego combinado con la retroalimentación de fuerzas, ejercicios y movimientos que están orientados a mejorar las habilidades del paciente cuyos mecanismos determinan el éxito de la terapia.

## V. INTERFAZ VIRTUAL

Los entornos virtuales son implementados para generar ejercicios de rehabilitación de manera efectiva enfocado en tareas cotidianas que crean entretenimiento, inmersión del paciente con el entorno y elimina cargas mentales; la interacción del paciente con los ambientes gráficos en 3D generan los movimientos de rehabilitación adecuados como se especifica en Fig. 3, 4, 5 respectivamente, lo cual crea mejora de fuerza y ganancia de resistencia en los músculos, tendones y articulaciones del paciente. El sistema virtual incluye dos interfaces encargadas de interactuar con la paciente basada en juegos de precisión por consecución de objetivos con el fin de obtener los ejercicios establecidos con una fuerza y dirección diferente.

La parte inicial de la sesión de rehabilitación está orientada a la ejecución de los ejercicios adecuados para la rehabilitación mencionados en la sección IV como un método de inicialización, familiarización y calentamiento de los músculos de la mano para que el paciente tenga un desempeño favorable con el entorno y el dispositivo, el primer entorno consiste en la manipulación de objetos de diferente peso hacia un contenedor donde cada uno de ellos es depositado de manera consecutiva y al azar por el usuario; al momento de realizar esta interacción se aplican fuerzas concéntricas de diferentes magnitudes en la muñeca del paciente produciendo los ejercicios de rehabilitación adecuados. La Fig. 6 presenta la interfaz del primer entorno en el cual se desarrolla la metodología antes descrita, la Fig. 7 muestra el manejo consecutivo de los objetos de diferente peso hacia el contenedor.



Fig. 6. Interfaz virtual del primer entorno.

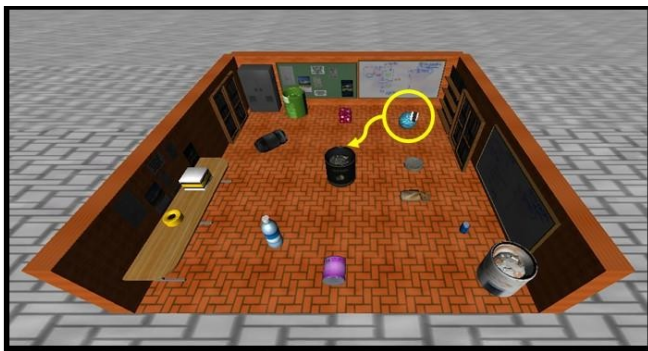


Fig. 7. Manejo de objetos

En la segunda instancia, el paciente interactúa con un ambiente virtual diferente, en el cual, el propósito es ordenar cada uno de los objetos dentro de la habitación donde cada uno de ellos posee pesos diferentes, a su vez mayores a los especificados en la primera interfaz, esta aplicación permite reforzar los ejercicios de rehabilitación efectuados en los pasos anteriores. En la Fig. 8(a) se presenta la habitación desordenada, la Fig. 8(b) representa el movimiento del objeto con mayor peso, la Fig. 8(c) indica el desplazamiento del objeto con menor peso, finalmente, la Fig. 8(d) presenta el cumplimiento del objetivo final definido como la habitación ordenada.

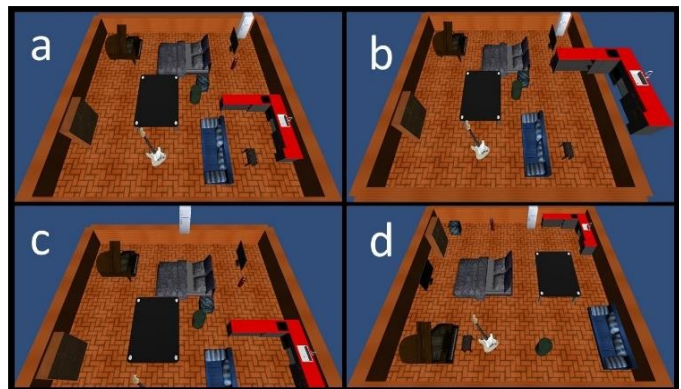


Fig. 8. Interfaz virtual del segundo entorno.

## VI. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Conforme a las pruebas efectuadas, la realimentación de fuerzas permite realizar movimientos específicos de rehabilitación de acuerdo a los parámetros médicos requeridos para el tratamiento del síndrome de túnel carpiano (CTS); se ha considerado la posición de los movimientos del dispositivo háptico, así como la interacción del paciente con las aplicaciones desarrolladas para relacionar los movimientos que efectúa el paciente con la fuerza generada por el dispositivo háptico.

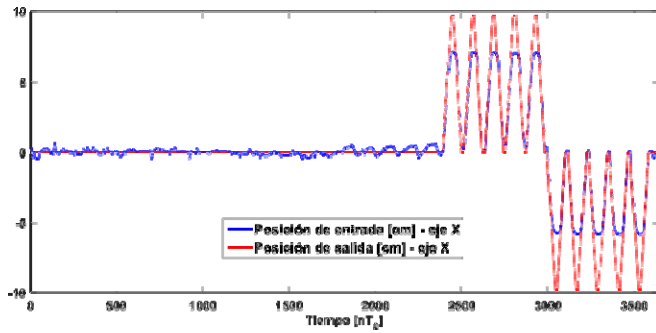


Fig. 9. Movimientos en el eje X

La Fig. 9 describe los movimientos realizados en el eje de las  $x$  entre el paciente y el dispositivo háptico, donde al iniciar la sesión de rehabilitación se ejecutan los ejercicios descritos en las Fig. 4(a), 4(b); el desplazamiento del lugar de afección del paciente (azul) sigue directamente a la realimentación de fuerza ejercida por el dispositivo háptico (rojo) por lo consiguiente se cumple las instrucciones dispuestas para ser realizadas en este eje.

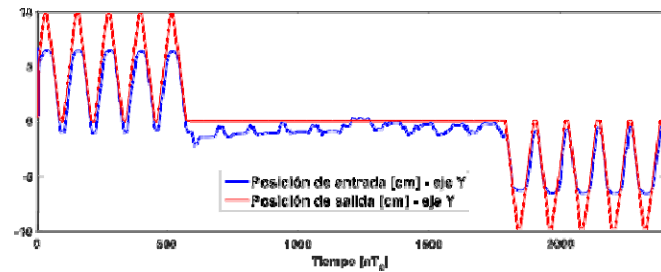


Fig. 10. Movimientos en el eje Y

De manera similar, la Fig. 10 describe los movimientos producidos en el eje  $y$  donde se efectúan los desplazamientos detallados en la Fig. 5, el cual continua con la rutina de familiarización del paciente con el dispositivo; el desplazamiento del lugar de afección del paciente (azul) se encuentra acorde al movimiento generado por el dispositivo (rojo), de esta manera, se cumple los ejercicios de rehabilitación propuestos para este eje.

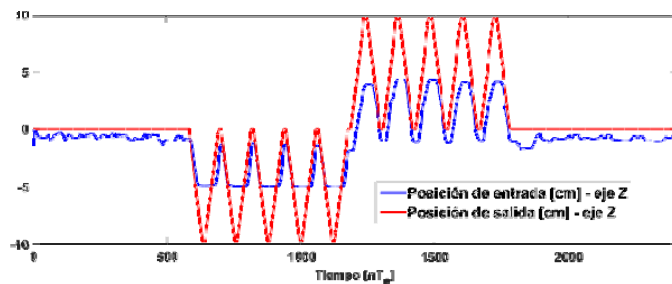


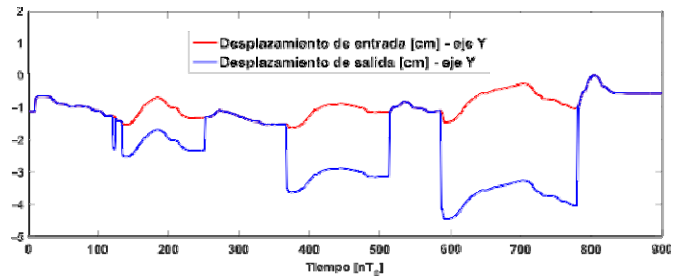
Fig. 11. Movimientos en el eje Z

Análogamente, la Fig. 11, describe los movimientos efectuados por el paciente en el eje  $Z$  (azul) vs la realimentación de fuerzas entregada por el dispositivo háptico

(rojo), la gráfica representa el cumplimiento de los ejercicios descritos en la Fig. 3; con los que se efectúan los principales movimientos para la rehabilitación del síndrome de túnel carpiano (CTS).

Finalmente, al ejecutar la aplicación de tareas cotidianas, Fig. 12, presenta el desplazamiento de los objetos dentro del cual se demuestra los diferentes pesos ejercidos por cada cuerpo manipulado; en tal virtud se demuestra la ejecución de los movimientos descritos en la Fig. 4(c) y 4(d).

Fig. 12. Manipulación de objetos de diferente peso



## VII. CONCLUSIONES

La realimentación de fuerzas promueve los movimientos necesarios para el tratamiento de la afección, proporciona el número de repeticiones de cada ejercicio acorde a la sesión de rehabilitación, de tal manera que la presente herramienta tiene el potencial de servir como complemento a la rehabilitación tradicional. Los resultados obtenidos brindan una herramienta necesaria para que el especialista realice una valoración pertinente del estado del paciente, así como un seguimiento del progreso de la rehabilitación del mismo.

Como trabajo futuro, se propone la implementación de esta herramienta en pacientes que padecen este tipo de afección, para obtener una valoración de la usabilidad del sistema.

## REFERENCIAS

- [1] V. Andaluz, P. Salazar, M. Silva, M. Escudero and C. Bustamante, "Rehabilitation of upper limb with force feedback," 2016 IEEE International Conference on Automatica (ICA-ACCA), Curicó, Chile, 2016, pp. 99-104.
- [2] C. Ramírez-Fernández, A. L. Morán and E. García-Canseco, "Haptic feedback in motor hand virtual therapy increases precision and generates less mental workload," Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2015 9th International Conference on, Istanbul, 2015, pp. 280-286.
- [3] C. Ramírez-Fernández, E. García-Canseco, A. L. Morán, & F. Orihuela- Espina, "Design Principles for Hapto-Virtual Rehabilitation Environments: Effects on Effectiveness of Fine Motor Hand Therapy," in ICTs for Improving Patients Rehabilitation Research Techniques (pp. 270-284). Springer Berlin Heidelberg, 2014.
- [4] V. H. Andaluz, P.J. Salazar, M. Escudero, C. Bustamante, M. Silva, W. Quevedo, W.,... & D. Rivas, (2016, December). Virtual Reality Integration with Force Feedback in Upper Limb Rehabilitation. In International Symposium on Visual Computing (pp. 259-268). Springer International Publishing.
- [5] E. Zepeda-Ruelas, J. Gudiño-Lau, M. Durán-Fonseca, S. Charre-Ibarra y J. Alcalá-Rodríguez, "Control Háptico con Planificación de Trayectorias Aplicado a Novint Falcon," La Mecatrónica en México, Vol. 3, No. 2, pp. 65-74, Mayo 2014.
- [6] R. Haarth, G. E. Ejarque, M. Distefano, "INTERFAZ HÁPTICO

APLICADA EN LA MANIPULACIÓN DE OBJETOS,” Instituto de Automática y Electrónica Industrial, Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Cuyo, 2010.

- [7] Felix G. Hamza-Lup, William H. Baird, “Feel the Static and Kinetic Friction,” Computer Science and Information Technology, Chemistry and Physics Armstrong Atlantic State University, Savannah, USA.
- [8] A. Uribe-Quevedo, S. Ortiz, D. Rojas and B. Kapralos, "Hand tracking as a tool to quantify carpal tunnel syndrome preventive exercises," 2016 7th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA), Chalkidiki, Greece, 2016, pp. 1-5.
- [9] C. S. Silișteanu, D. M. Crăciun and M. David, "The importance of the sensor devices in the recovery of the patients with the carpal tunnel syndrome," 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), Iasi, Romania, 2016, pp. 426-430.
- [10] S. Arita, H. Hashshizume and M. Honda, "A new approach to clarify the fuzziness of medical diagnosis by diagnostic layers — A diagnostic system for Carpal Tunnel Syndrome with two layers of diagnostic filters using clinical indicators," 2014 Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS), Kitakyushu, 2014, pp. 845-850
- [11] P. Renon, Chenguang Yang, Ma Hongbin and Cui Rongxin, "Haptic interaction between human and virtual iCub robot using Novint Falcon with CHAI3D and MATLAB," Control Conference (CCC), 32nd Chinese, Xi'an, pp. 6045-6050, 2013.
- [12] Zhibin Song, Shuxiang Guo and M. Yazid, "Development of a potential system for upper limb rehabilitation training based on virtual reality," Human System Interactions (HSI), 2011 4th International Conference on, Yokohama, 2011, pp. 352-356.
- [13] A. Gupta, and M. K. OMalley, “Design of a Haptic Arm Exoskeleton for Training and Rehabilitation,” Transactions on mechatronics IEEE/ASME, Vol. 11, No. 3, 2006.



**Víctor H. Andaluz** nació en Ambato, Ecuador en 1984. Obtuvo el título de Ph.D. Ingeniería en sistemas de control en 2011. Actualmente, se encuentra trabajando en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga- Ecuador. Su área de investigación es control inteligente aplicado a sistemas de producción, robots móviles y rehabilitación de personas.



**Carlos Bustamante D.** nació en Quito, Ecuador en 1992. Es estudiante de Ingeniería Electrónica e Instrumentación en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga-Ecuador. Su área de investigación es: Realidad virtual, Sistemas hápticos y procesamiento de imagen



**Marcelo Silva S.** nació en Ambato, Ecuador en 1991. Es estudiante de Ingeniería Electrónica e Instrumentación en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga- Ecuador. Su área de investigación es: Realidad virtual, Sistemas hápticos y control de procesos.



**Miguel Escudero V.** nació en Latacunga, Ecuador en 1992. Es estudiante de Ingeniería Electrónica e Instrumentación en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga-Ecuador. Su área de investigación es: Realidad virtual, Sistemas hápticos y procesamiento de imagen



**Pablo J. Salazar** nació en Ambato, Ecuador in 1992. Es estudiante de Ingeniería Electrónica e Instrumentación en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga- Ecuador. Su área de investigación es: Realidad virtual, Sistemas hápticos y control de procesos.