

Sistema para la evaluación motriz en miembros superiores (manos) de pediátricos empleando tecnologías de bajo costo

Alejandro Jarillo Silva^{a,*}, Omar Arturo Domínguez-Ramírez^b, Jesús Cruz-Ahuactzi^a

^aInstituto de Informática Miahuatlán de Porfirio Díaz, Universidad de la Sierra Sur, Oaxaca

^bCentro de Investigación en Tecnologías de la Información y Sistemas Ciudad Universitaria, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, Hidalgo

Resumen

La necesidad de satisfacer carencias relacionadas con la integración de herramientas tecnológicas de bajo costo para la optimización de procesos, se ha hecho más evidente conforme pasa el tiempo. En este trabajo de investigación se propone una solución al problema que enfrentan las instituciones de salud, y de manera muy particular el área de rehabilitación, ya que los especialistas demandan un proceso automatizado para agilizar la valoración y evaluación de los pacientes que sufren una discapacidad motriz, y así tener un mejor control y disposición de esta información. El primer paso consiste en desarrollar un sistema con base a la Norma del Expediente Clínico Electrónico (ECE) que permita realizar diversas tareas que van desde el alta, modificación y consulta de información del personal y pacientes hasta la generación reportes. El segundo paso consiste en integrar una sección de evaluación motriz al ECE, misma que hace uso de guantes de datos, los cuales fueron diseñados y desarrollados para la captura de información de movimiento (posición y velocidad) en tiempo real, la cual es visualizada por el especialista a través de una interfaz de usuario. El almacenamiento de la información se guarda en una base de datos que fue diseñada para que el sistema tenga la capacidad de generar reportes, que van desde una simple receta médica hasta modificar información tanto de especialistas como de pacientes según sea el caso. Por lo tanto, el sistema está dirigido a dos tipos de usuarios; un administrador y el especialista, donde cada uno de ellos pueden realizar diversas tareas dependiendo de su rol. La metodología de diseño es DCU (Diseño Centrado en el Usuario) y el patrón de arquitectura es MVC (Modelo Vista Controlador). Finalmente para las pruebas piloto se contemplaron diversas técnicas utilizadas en una prueba de usabilidad como son: evaluación heurística, hablar en voz alta, medidas de rendimiento, post-test (SUS(System Usability Scale)) y observación, de los cuales se obtuvieron resultados favorables con base a los criterios de los usuarios que evaluaron el sistema.

Palabras Clave: Evaluación motriz, arquitectura abierta, usabilidad, base de datos, diseño centrado en el usuario.

1. Introducción

Los problemas neurológicos en pacientes pediátricos ocurren cuando el niño desarrolla problemas en una parte del sistema nervioso, como el cerebro, espina dorsal y nervios, esto ocasiona daños en los músculos y la mayoría de estos problemas están relacionados con: retrasos de desarrollo, severos dolores de cabeza, convulsiones, aumento anormal en el tamaño de la cabeza, rigidez muscular, falta de coordinación y lesiones cerebrales traumáticas. Las discapacidades que ocasionan los problemas neurológicos se clasifican en adquiridas (accidentes, infecciones, exposición a productos químicos, entre otros) y congénitas (de nacimiento). Ocasionando estas la pérdida de movimiento en miembros superiores.

Con respecto al diagnóstico y recuperación en los niños existen pocas herramientas interactivas que permiten el logro de estos objetivos, el desarrollo de éstas se ha centrado más en personas adultas y personas de la tercera edad. Los avances que se han tenido con las herramientas desarrolladas para rehabilitación de miembros superiores son varias, en la mayoría de los casos se ha utilizado guantes de realidad virtual entre los cuales destacan el Power Glove, Cyber Glove I, Cyber Glove II, Rutgers Master II-ND (M. Bouzit, 2002), entre otros, de los cuales algunos de estos se destacan por tener una retroalimentación de fuerza y por consecuencia son de costo elevado. Con el apoyo de ciertos dispositivos como la cámaras web, dispositivos hápticos y ambientes virtuales, se han generado plataformas que simulan movimientos que realizan los pacientes para su estudio posterior, que se enfocan a la rehabilitación de miembros superiores que son consecuencia de algún problema neurodegenerativo como la artritis o Síndrome de Parkinson. Para ciertos pacientes que les es imposible acudir a algún centro de rehabi-

*Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: ajarillo0205@gmail.com (Alejandro Jarillo Silva), omar@uaeh.edu.mx (Omar Arturo Domínguez-Ramírez), ahuactzi@unsis.edu.mx (Jesús Cruz-Ahuactzi)

litación, se han desarrollado herramientas que permiten llevar a cabo la rehabilitación a distancia (telerehabilitación), en donde los médicos le indican al paciente que ejercicios se deben llevar a cabo y así el médico pueda obtener datos en tiempo real a distancia.

1.1. *Planteamiento del problema.*

En México es necesario evolucionar en las técnicas para la evaluación y diagnóstico biomecánico y neurológico en pediátricos. La introducción de nuevas tecnologías conduce al nacimiento de múltiples propuestas de solución. Sin embargo aunque ya existen en países desarrollados tecnologías de alto rendimiento (exactitud, seguridad, precisión, eficacia, entre otros) que son demandadas como instrumentos dentro de la evaluación y rehabilitación, resultan ser de un costo elevado dentro del mercado y en consecuencia difícil de adquirir por los centros de rehabilitación infantil en el país, entre ellos el CREE (Centro de Rehabilitación y Educación Especial) y el INP (Instituto Nacional de Pediatría).

Existe una exigencia de generar tecnología propia para solucionar los problemas que enfrenta la sociedad mexicana y de manera particular la oaxaqueña. Las instituciones de salud en forma general requieren de herramientas tecnológicas para agilizar sus procesos de automatización de la información. Uno de los procesos de automatización demandado en centros de rehabilitación es la evaluación, debido a que el diagnóstico se realiza de manera convencional (lápiz y papel). A partir de lo ya mencionado se deriva una pregunta que conlleva a formular la posible solución empleando herramientas computacionales: ¿Es posible diseñar y construir un sistema de expediente clínico electrónico que permita la interacción con guantes de datos que monitoreen en tiempo real los movimientos de la mano de un pediátrico, y que se lleve a cabo la captura y almacenamiento de los datos de movimiento adquiridos durante el proceso de evaluación, todo esto empleando tecnología de bajo costo?

1.2. *Justificación.*

Debido a la falta de adquisición y uso de nuevas tecnologías orientadas a la salud en nuestro país, en particular el estado de Oaxaca, existe una brecha digital que afecta a muchas personas. Ante el rezago tecnológico que afecta al país, el presente proyecto se busca la manera de generar conocimientos para automatizar los procesos de diagnóstico, valoración, evaluación de pacientes pediátricos con problemas de discapacidad motriz en miembros superiores generados por una deficiencia neurológica.

1.3. *Estado del arte.*

El primer guante Martínez (2018) de datos fue desarrollado en 1983, por el Dr. G. Grimes en los Laboratorio Bell de ATT, en EE.UU. Este guante fue denominado “Digital Data Entry-Glove”, contaba con sensores de flexión en los dedos, sensores táctiles en las yemas y sensores de posición espacial. En el trabajo “Virtual Reality-Enhanced Stroke Rehabilitatio”, se reporta un sistema experimental que consiste en una estación de trabajo que ejecuta ejercicios de realidad virtual con bases de

datos, así como una estación terapéutica más tradicional. Este sistema se componía de una PC Pentium II 400 MHz con un acelerador de gráficos FireGL 400 y dos guantes de entrada-salida, estos guantes eran el CyberGlove y el Rutgers Master II-ND un tipo de guante con retroalimentación de fuerza. La simulación de realidad virtual presentada ahí consiste en cuatro ejercicios. Cada uno se concentra en un parámetro en particular del movimiento de la mano: alcance, velocidad, fraccionamiento y fuerza (D. Jack, 2001). Por otra parte, en el proyecto “A data-glove with vibro-tactile stimulators for virtual social interaction and rehabilitatio”, (S. Pabon, 2007), plantea experimentos con guantes que usan sensores goniométricos. Así mismo hace mención que el uso de guantes de datos es sencillo y barato, el problema reside en el tamaño de las manos ya que todas las personas tienen las manos de diferentes tamaños. De igual manera presenta una arquitectura de control de hardware que adquiere señales analógicas desde los sensores, que son convertidos en señales digitales enviadas a la PC a través de un puerto serial. En otra investigación en el 2009 titulada “A Sensorized Glove for Hand Rehabilitatio”, (F. Cutolo, 2009), se menciona que el uso de sensores tiene un potencial para el desarrollo de nuevas aplicaciones en la rehabilitación. El trabajo se centra en el desarrollo de un sistema basado en un guante con sensores que rastrea los movimientos de la mano durante tareas de grasp/release de la mano. El proyecto apunta a la tecnología en vías de desarrollo para facilitar la aplicación de protocolos de la rehabilitación enfocada en mejorar la función de la mano. Los resultados preliminares presentaron en esta muestra que el guante de sensores puede rastrear la abertura de la mano fiablemente durante la estática y las tareas dinámicas. Finalmente en la investigación titulada “Desarrollo de guantes de datos para terapias de rehabilitación neuronal”, describe el desarrollo de un prototipo de guante de datos para neuro-rehabilitación, encargado de monitorear los movimientos de la mano y la posición de los dedos empleando tela conductiva y sensores de flexión. Este monitoreo sirve para controlar un videojuego desarrollado ad hoc para actividades de rehabilitación de manos (Martínez, 2018).

Por otra parte existen desarrollo de prototipos de guantes con objetivos más específicos de acuerdo a las diferentes aplicaciones. Un ejemplo es el CyberGlove II son guantes inalámbricos CyberGlove II de 18 a 22 puntos de articulación de alta precisión, utilizan tecnología de detección de plegado de resistencia para transformar los datos de los movimientos de la mano y dedos en tiempo real (ver Figura 1 (a)). El sistema de captura de movimiento CyberGlove ha sido utilizado en una amplia variedad de aplicaciones reales, incluyendo la evaluación de prototipo digital, realidad virtual biomecánica y animación. El Gloveone es un guante que permite interactuar con un entorno virtual con nuestra propia mano, con el muy interesante añadido de ser capaz de hacernos sentir el tacto de diferentes superficies mediante una serie de pulsos vibratorios en cada dedo (ver Figura 1 (b)). Y finalmente otro proyecto es el DG5 VHand 3.0 el cual es un guante de datos equipado con un completo e innovador sensor para la detección de movimiento. Gracias a sus cinco sensores de flexión integrados, es posible medir con exactitud los movimientos de dedo, mientras que el sensor integrado de movimiento Invensense: 9 ejes (3 ejes de acelera-



Figura 1: Guantes de datos

ción, 3 ejes de giroscopio y 3 ejes de magnetómetro) permite detectar los movimientos de la mano (orientación, roll, pitch y yaw)(ver Figura 1 (c)).

2. Sistema de evaluación motriz en miembros superiores

El desarrollo del sistema se describe de la siguiente manera:

2.1. Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema está conformada por los elementos mostrados en la Figura 2.

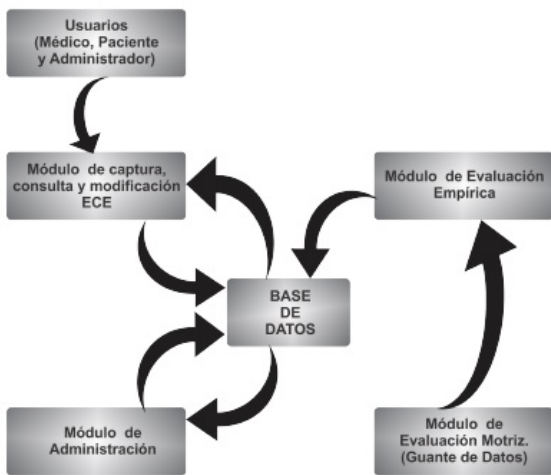


Figura 2: Arquitectura del sistema

Descripción de los módulos:

Usuario Se contemplan tres tipos de usuarios, el especialista (médicos en el área de rehabilitación), el administrador (jefe de área o departamento) y el paciente (pediátrico)

Base de datos Los usuarios independientemente del rol que juegan son considerados fuentes de información, donde dicha información deber ser almacenada de forma permanente o temporal según sea el contexto donde se genera.

Para ello el sistema considera la generación de una base de datos que tenga las siguientes funciones: almacenaje de información, seguridad, independencia de datos e integridad de los datos.

Módulo de captura, consulta y modificación ECE Tanto el paciente como el especialista deben proporcionar información cuantitativa y cualitativa contemplando normas que rigen las instituciones de salud.

Módulo de administración En este módulo se lleva acabo la administración global del sistema, tendrá como función controlar el acceso de usuarios al propio sistema, permitiendo con ello la negación o el acceso al mismo.

Módulo de evaluación empírica En este módulo pretende fisionar la mayor parte de la información recopilada en cada uno de los módulos, esto con la finalidad de llevar acabo un proceso de evaluación que le permita al especialista tomar decisiones basadas no solo de forma subjetiva. Para ello este módulo hará uso de un conjunto de reglas básicas que serán definidas durante el desarrollo de esta investigación.

Módulo de evaluación motriz Este módulo tendrá la tarea de monitorear, adquirir y almacenar la información otorgada durante la interacción del paciente con el guante de datos generando así una interfaz de comunicación directa entre la señal kinestésica del paciente y la computadora.

2.2. Diseño e interfaces de usuario

En el desarrollo de un sistema informático, la parte importante es la interfaz gráfica, ya que a través de ella, es posible la interacción entre el usuario y el sistema. En esta etapa se contempla desarrollar interfaces gráficas del sistema expediente clínico así como las interfaces para controlar el guante de adquisición de datos, todo esto empleando estrategias de prototipado de alta y baja fidelidad.

La Figura 3 hace referencia a cada una de las partes de las interfaces desarrolladas, en (1) se muestra el tono activo y la postura que el pediátrico será colocado por el médico, en (2) la valoración a realizar, en este caso se muestra que serán las manos, en (3) representa la serie de maniobra que será ejecutada dependiendo de la edad (4). En (5) se visualizan las citas por cada maniobra que se han realizado y en (6) se describe un serie de signos neurológicos, estos se colocan en la parte inferior de la descripción junto con el número de cita que se realizó, esta calificación depende de la observación del médico.

8. TONO ACTIVO: POSTURA 8.1. DECUBITO SUPINO		C A L I F I C A C I O N E S										DESCRIPCIÓN DE SIGNOS NEUROLÓGICOS			
VALORACION	MANEJOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4	5	6.1,2,3. Manos fuertemente movilizadas después de 30 seg de G.O.BE)										4. Retraso en la relajación de parálisis de decubito: 1. no movilizada. 2. no movilizada. 3. no movilizada. 4. no movilizada. 5. no movilizada. 6. no movilizada. 7. no movilizada. 8. no movilizada. 9. no movilizada. 10. no movilizada. 11. no movilizada. 12. no movilizada. 13. no movilizada. 14. no movilizada.			
Fecha: 10/05/2019 Hora: 10:00 AM															

Figura 3: Formato de evaluación tradicional

En la Figura 4 se muestra la interfaz donde se llevan a cabo los ajustes de acuerdo al tipo de evaluación del paciente.

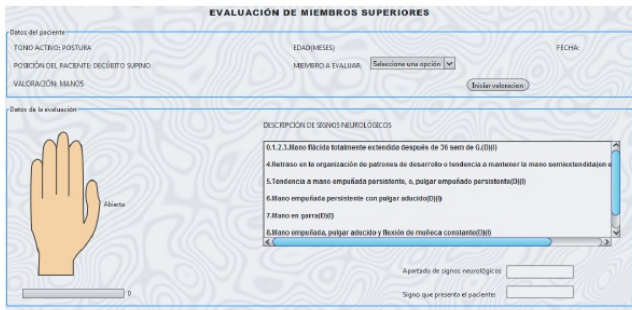


Figura 4: Interfaz de ajuste para evaluación con guante de datos y calificaciones

La interfaz gráfica de la evaluación es una parte fundamental del sistema debido a la importancia de la información representada. Esta se encarga de mostrar la información cuantitativa acerca del movimiento kinestésico de la mano. Además tiene como objetivo permitir al médico realizar múltiples tareas entre las que se encuentran: iniciar una nueva evaluación, pausar la evaluación, detenerla en caso necesario, obtener gráficas de las evaluaciones realizadas, entre otras. La interfaz gráfica resultante se muestra a continuación en la Figura 5.

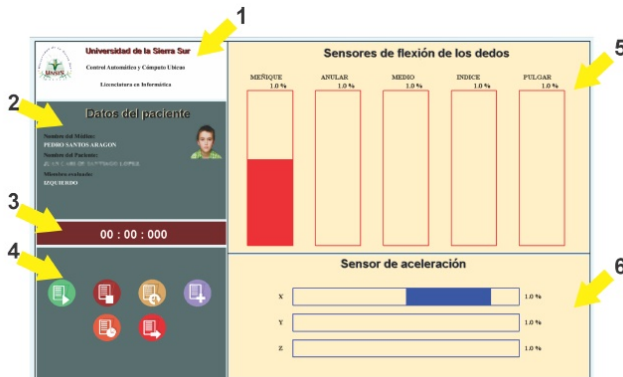


Figura 5: Interfaz gráfica para el dispositivo de interacción

La interfaz se divide en 6 partes donde cada una de ellas representa una función, estas se describen a continuación:

- 1. Se muestra información relevante acerca del departamento, unidad médica, hospital o lugar, es decir toda aquella información correspondiente a la institución.
- 2. En esta sección de la interfaz gráfica se enfoca en mostrar información del paciente (Nombre del paciente, nombre del médico evaluador, miembro a evaluar y foto del paciente).
- 3. Para llevar a cabo la evaluación es necesario que se contemple el tiempo que durará, por tal motivo en esta sección se muestra un cronómetro, mismo que al dar clic en el icono iniciar la evaluación este comenzará el conteo mostrando el tiempo actual en que la evaluación se va desarrollando.

- En esta parte de la interfaz se muestran las funciones disponibles dentro de esta interfaz gráfica representada por iconos, entre las funciones que se podrán realizar en la interfaz se encuentran:

- Iniciar y pausar la evaluación
- Detener o finalizar la evaluación
- Repetir la evaluación
- Nueva evaluación
- Generar reportes (Representado por gráficas)
- Salir

- 5. Esta parte de la interfaz se hace referencia a cada uno de los dedos (dependiendo del lado que se trate, los nombres cambiarán), las barras mostrarán el nivel de flexión que será representado por un porcentaje en la parte superior de la barra de cada uno de los sensores cuando estos son accionados. Si la barra esta llena significa que el paciente ha flexionado por completo el dedo correspondiente a esa barra, en caso contrario (barra vacía), esto significa que el dedo del paciente se encuentra extendido.

- 6. Los valores que se obtendrán de los sensores de aceleración se muestran con barras horizontales, las cuales se encuentran divididas por la mitad, los valores de la aceleración positiva son mostrados del centro a la izquierda, mientras que los valores de la aceleración negativa son mostrados del centro a la derecha de la barra.

2.3. Descripción de componentes

Durante la interacción entre el guante de datos, el paciente y la computadora se determinan procesos de señales que se llevan a cabo entre los diferentes elementos del sistema, para ello se realiza una descripción detallada de cada uno de estos (ver Figura 6).

Guantes de datos (1) A través de la dotación de sensores tanto de flexión como de aceleración es posible conocer el movimiento de dedos y muñeca, los guantes de datos envían información de tipo analógica a un módulo donde se realizará el procesamiento de conversión y adaptación.

Se asigna puerto A/D a cada uno de los sensores de flexión, los cuales leen la señal generada y pueden determinar la magnitud de la flexión que hay presente en cada una de estas articulaciones. Se envía la información y el monitoreo de manera continua en ciclos con una frecuencia de 20 Hertz, suficiente para que se pueda interpretar en la interfaz de usuario, de modo que los movimientos sean en tiempo real. La información que pasa por un convertidor serial-USB para establecer entonces la comunicación del microcontrolador con la PC y que sea usada por el sistema y pueda llevar a cabo las funciones correspondientes. La calibración del guante de datos se haría por parte de la aplicación la cual utilizará al guante de

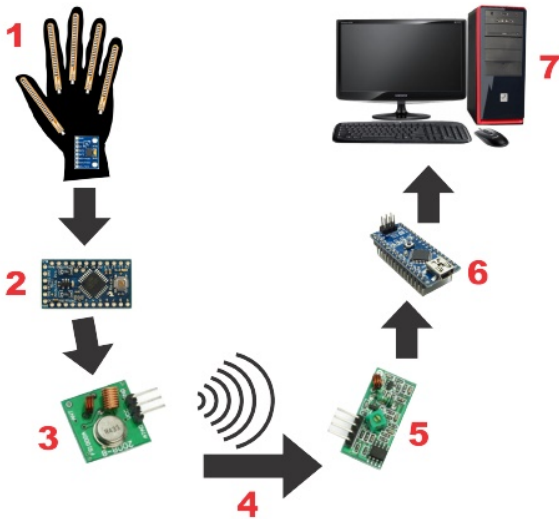


Figura 6: Arquitectura del dispositivo de interacción

datos, es decir, que el guante de datos le entregaría la información al sistema en datos crudos de la aceleración y los niveles de flexión, y el sistema haría la interpretación y manejo de la información que considere o que utilice.

Etapas de acondicionamiento (2 y 6) La tarjeta (2) será encargada de convertir los datos analógicos a datos digitales y enviarlos de forma serial al módulo de radiofrecuencia, mientras tanto la Arduino (6) permite recoger los datos del módulo de radiofrecuencia y enviarlos a la computadora.

Módulo de radiofrecuencia (3 y 5) Este módulo consta de un kit Transmisor/Receptor ASK 433/315 Mhz, para el envío de datos vía radiofrecuencia.

Canal de comunicación (4) El canal o medio de comunicación es por medio de ondas de radiofrecuencia que el emisor enviará al receptor a una frecuencia de 315 MHz. Cabe mencionar que esta frecuencia no interfiere con los aparatos de onda corta que se pueden encontrar en el lugar de trabajo. Mientras tanto el envío de datos será de forma unilateral (en un solo sentido), aunque el módulo de radiofrecuencia puede enviar y recibir y viceversa, en este caso solo se enviará, debido a que no existe una necesidad de respuesta.

Equipo de cómputo (7) . El equipo de cómputo consta de un software y es el encargado de presentar los campos necesarios para la recolección de datos, almacenaje y presentación de los mismos de cada uno de los pacientes y usuarios (médicos) del sistema. Para que este equipo sea funcional y no presente problemas de procesamiento se recomienda un equipo con las siguientes características técnicas:

- Procesador: AMD Athlon (tm) 64 x2 Core Procesador 3600+ 2.01 GHz.

- Sistema operativo: Windows 7, 32-bit, Español
- Memoria RAM: 2 GB DDR2
- Tarjeta de video: NVIDIA GeForce 6100 nforce 400
- Disco duro: SATA 320GB 7200 RPM

Lo anterior representan los componentes más importantes del equipo de cómputo, se tomó en cuenta esta características para ofrecer mayor rendimiento al estar utilizando el sistema, de igual manera se consideró preferible tener recurso de hardware extra para solucionar algún problema de sobrecarga de procesos que se llegara a tener, así el equipo de cómputo no estará sometido a una cantidad considerable de procesos que saturan su capacidad de procesamiento, con ello se asegura el buen funcionamiento del sistema.

3. Pruebas

Las pruebas forman parte importante de todo sistema de software, permite identificar errores de programación y diseño, así mismo permite a usuarios reales utilizar el sistema desarrollado, en este caso específico para realizar las pruebas se tomó en cuenta aspectos específicos que son definidos dentro de un estudio de usabilidad el cual nos permiten identificar el grado en que un sistema es usable. Para ello es necesario realizar pruebas piloto de usabilidad, que permitan identificar y rectificar hasta cierto punto las deficiencias de usabilidad y errores existentes.

La planificación de las pruebas del sistema se desarrolla de la siguiente manera:

Ámbito Las tareas que se van a evaluar dentro del sistemas son;

- Alta de información de un nuevo médico
- Consulta de información de un médico registrado
- Modificar información de médicos
- Alta de pacientes
- Consultar información de pacientes
- Modificación de pacientes
- Evaluación de pacientes
- Generación de receta médica

Propósito Determinar si la información que requieren los usuarios para ejecutar cada una de las tareas se encuentra visible y de fácil acceso. Identificar y diagnosticar los errores cometidos en cada una de las tareas. Verificar si los iconos y las metáforas son intuitivos para los usuarios.

Participantes Tres médicos cirujanos y un especialista en rehabilitación motriz

Dependiendo del rol que juegue cada usuario podrá ejecutar diferentes tareas. Los usuarios administrador llevara a cabo las actividades descritas en la Tabla 1.

Tabla 1: Escenarios para un usuario administrador

Número	Actividad
1	Alta de información del paciente
2	Alta de información de usuario
3	Alta de medicamentos
4	Alta de recetas
5	Modificación de información de pacientes
6	Modificación de información de usuarios
7	Consulta de información de pacientes
8	Consulta de información de usuarios
9	Realizar evaluación

Tabla 2: Escenarios para un usuario especialista

Número	Actividad
1	Alta de información del paciente
2	Alta de medicamentos
3	Alta de recetas
4	Modificación de información de pacientes
5	Modificación de su información personal
6	Consulta de información de pacientes
7	Realizar evaluación

Los usuarios especialista llevaron a cabo las actividades descritas en la Tabla 2.

Las pruebas de usabilidad se desarrollaron en las instalaciones de la Universidad de la Sierra Sur en el laboratorio de IHC (Interacción Humano Computadora). Los usuarios participantes fueron tres médicos generales (R1, R2 y R3) y una Maestra en Ciencias con Especialidad en Rehabilitación (R4). Al terminar de realizar las tareas se les aplicó el instrumento SUS (System Usability Scale) (Broke, 1996). Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Resultados del instrumento SUS

Pregunta	R1	R2	R3	R4
1	4	5	4	4
2	1	4	1	1
3	4	5	4	4
4	1	1	4	2
5	5	5	4	3
6	1	2	3	1
7	5	5	4	5
8	1	1	1	1
9	5	5	4	5
10	1	3	1	1

Preguntas del sistema SUS:

- 1. ¿Creo que me gustaría usar este sistema habitualmente?
- 2. ¿Encuentro el sistema innecesariamente complejo?
- 3. ¿Encuentro el sistema fácil de usar?
- 4. ¿Creo que necesitaría la ayuda de personal técnico para usar este sistema?

- 5. ¿Creo que las funciones del sistema están bien integradas?
- 6. ¿Creo que el sistema no es consistente?
- 7. ¿Creo que la mayoría de las personas aprenderían a usar el sistema rápidamente?
- 8. ¿Encuentro el sistema incómodo de usar?
- 9. ¿Me siento seguro usando el sistema?
- 10. ¿Tuve que aprender muchas cosas antes de poder manejarlo con el sistema?

4. Resultados

En la Tabla 3 se muestran las puntuaciones obtenidas de la aplicación de cuestionario post-test (SUS) a los usuarios que evaluaron el sistema. De un total de 40 puntos, las calificaciones en base a los usuarios oscilan entre 27 a 36 puntos, dando resultados favorables a estas pruebas piloto.

A partir de la interacción con el sistema los usuarios proporcionan retroalimentación misma que permite mejorar la interactividad del sistema, sin embargo, aunque hay presencia de errores comunes esto no conlleva al fracaso de una tarea en específico. Los errores comunes que se detectaron durante la navegación con el sistema son los siguientes:

- Las funciones de la barra de menús en la parte superior no la identifican con facilidad.
- Al iniciar la prueba tenían que acercar el ratón a los iconos para saber su funcionalidad.
- Al no brindarles capacitación antes de la prueba, los usuarios mostraban inseguridad al interactuar con el sistema, sin embargo, esto fue desapareciendo conforme ellos realizaban las tareas que se les indicaba.
- En la tarea de cambiar de usuario, tardaban en identificar el botón.

Aunque el sistema presenta algunas deficiencias durante la interacción, este les permite continuar con la tarea y terminarla de manera exitosa, ofreciendo retroalimentación de cada paso de la tarea.

4.0.1. Medidas de rendimiento

Así mismo, se calcularon los tiempos promedio en los que cada usuario realizó las tareas específicas, estos tiempos se encuentran expresados en la Tabla 4.

En promedio un usuario administrador termina todo el conjunto de tareas en un lapso de 24 a 44 minutos, en cambio un usuario estándar culmina estas en un tiempo que oscila entre los 19 a 33 minutos, en ambos usuarios no se contempla la evaluación. Esta diferencia de tiempo que existe entre ambos roles se debe a que el usuario administrador cuenta con acceso a todas las funciones del sistema, en caso contrario, el usuario estándar solo tiene acceso a funciones relacionadas con pacientes. Así

Tabla 4: Resultados de medidas de rendimiento de tareas de un usuario administrador

Actividad	Tiempo promedio (minutos)
1	3 - 5
2	3 - 5
3	5 - 8
4	2 - 5
5	4 - 6
6	2 - 4
7	2 - 5
8	3 - 5
9	Depende de la experiencia del evaluador

mismo, en el caso de la tarea de evaluación los tiempos difieren entre un paciente y otro esto puede ser por el comportamiento o la posición del pediátrico, también influyen los criterios del especialista, por ejemplo, el tiempo que él considera necesario para la evaluación o si desea evaluar ambos o solo un miembro superior.

4.0.2. Señales del dispositivo guante

Las aceleraciones se pueden dividir en dos tipos: dinámico y estático. Una aceleración dinámica es una medida del movimiento instantáneo de la mano a lo largo de uno de los tres ejes. Aceleraciones estáticas son debido a la fuerza de gravedad, por ejemplo rodando la mano alrededor del eje y (roll) se modificará la aceleración y girando la mano a lo largo del eje x (pitch) se modificará la aceleración, por lo que el ángulo de paso se puede medir. Durante los experimentos realizados se realizaron las lecturas de las señales de los sensores de flexión y del acelerómetro (entrega señales de pitch y roll). En la figura 7 se observa la señal del pitch obtenida del guante izquierdo. En la figura 8 se muestra la señal del roll obtenida del guante izquierdo. Finalmente, en la figura 9 se presentan las 5 señales de los sensores de flexión, mismos que pertenecen al guante izquierdo.

Los resultados muestran que las señales proporcionadas por los guantes pueden ser de gran ayuda al momento de correlacionar las evaluaciones y los diagnósticos realizados por los especialistas.

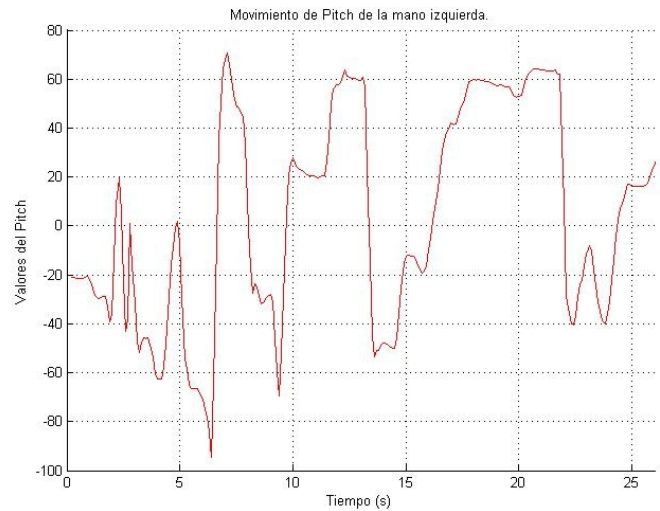


Figura 7: Señal de movimiento de pitch de la mano izquierda

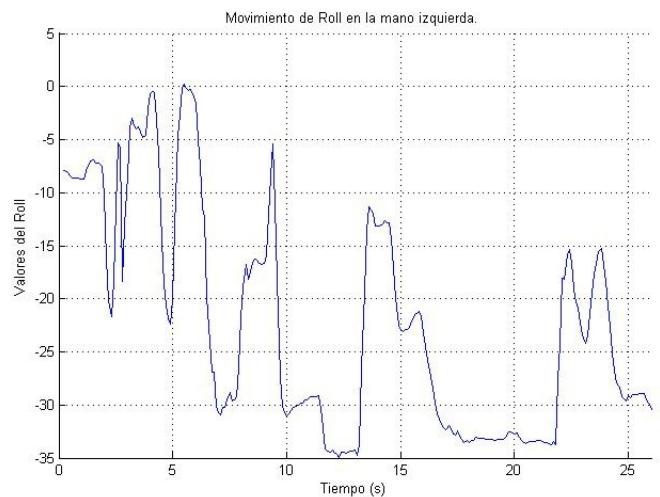


Figura 8: Señal de movimiento de roll de la mano izquierda

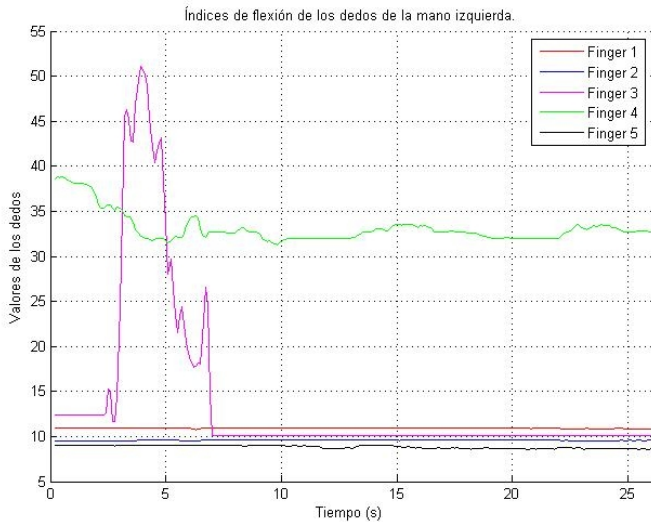


Figura 9: Señal de los sensores de flexión

5. Conclusión

Como conclusión general la integración de este sistema cumple con el objetivo general ya que se utilizó tecnología de bajo costo, software libre y se automatizó un proceso de un área diferente, esta fue una tarea que requirió tiempo, entrega y disciplina para poderlo realizar, así como la colaboración de diferentes personalidades. Cabe mencionar que un software nunca cubrirá al 100 por ciento las necesidades de los usuarios y que con el transcurso del tiempo es necesario realizar actualizaciones para su mejora continua, por tal motivo, a continuación se presentan los trabajos futuros.

Como en todo trabajo existen diversas líneas que quedan abiertas y en las que es posible continuar investigando y trabajando. Durante el desarrollo de este sistema, han surgido nuevas ideas, nuevos desarrollos, nuevas investigaciones que se espera seguir trabajando en ellas en un futuro. A continuación, se presentan algunos trabajos futuros que pueden desarrollarse en base a investigaciones, y que por exceder el alcance del proyecto no se han podido llevar a cabo por su nivel de complejidad. Entre los posible trabajos futuros destacan:

- Diseño y virtualización de una mano en tercera dimensión, que con la ayuda del hardware desarrollado permita monitorear la posición, velocidad y aceleración de la mano así como la posición y velocidad de la extensión de cada uno de los dedos en tiempo real.
- Desarrollo de ambientes virtuales integrados al hardware (guantes de datos) desarrollado, donde el especialista pueda configurar de acuerdo al tipo de evaluación que llevara a cabo.
- Migración del sistema a un entorno web, que en este caso se omitió por la falta de infraestructura dentro de un entorno hospitalario. Uno de los objetivos es integrar el Expediente Clínico Electrónico a una base de datos general del hospital.

- Integración de módulos de cámaras de video que permitan la captura de toda la sesión de valoración con la finalidad de que en su momento pueda ser consultado.

English Summary

System for motor evaluation in upper limbs (hands) of pediatrics using low cost technologies.

Abstract

The need to satisfy shortcomings related to the integration of low-cost technological tools for process optimization has become more evident through the time. This research project proposes a solution to the problem faced by health institutions, and in a very particular way the rehabilitation area, since specialists demand an automated process to speed up the assessment and evaluation of patients suffering from a motor disability. , and thus have a better control and disposition of this information. The first step is to develop a system based on the Electronic Clinical File Standard (ECFS) that allows performing various tasks ranging from the registration, modification and consultation of information of staff and patients to the reports generation. The second step consists in integrating a motor evaluation section to the ECE, which uses data gloves, which were designed and developed to capture movement information (position and velocity) in real time, visualized by the specialist through a user interface. The information is stored in a database that was designed so that the system has the ability to generate reports, ranging from a simple medical prescription to information changes made by specialists and patients depending on each case. Therefore, the system is aimed at two types of users; an administrator and the specialist, where each of them can perform various tasks depending on their role. The design methodology is DCU (User Centered Design) and the architecture pattern is MVC (Model View Controller). Finally, for the pilot tests, several techniques used in a usability test were considered, such as: heuristic evaluation, speaking aloud, performance measures, post-test (SUS (System Usability Scale)) and observation, obtaining favorable results based on the criteria of the users who evaluated the system.

Keywords:

motor evaluation, open architecture, usability, data base, user center design.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias al apoyo de las autoridades de la Universidad de la Sierra Sur quien ha permitido utilizar los laboratorios para ejecutar las evaluaciones del sistema.

Referencias

- Bass, L., Kazman, R., 2003. Addison Wesley.
- Broke, J., 1996. Sus-a quick and dirty usability scale. usability evaluation in industry., 189–194.
- D. Jack, B. Rares, e. a., 2001. Virtual reality-enhanced stroke rehabilitation. Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering 9, 308–318. DOI: 10.1109/7333.948460
- F. Cutolo, C. Mancinelli, e. a., 2009. A sensorized glove for hand rehabilitation. Bioengineering Conference, 35th Annual Northeast 1, 1–2. DOI: 10.1109/NEBC.2009.4967775
- M. Bouzit, G. P., 2002. The rutgers master ii-nd force feedback glove. Proceedings of IEEE VR 2002 Haptics Symposium 10, 1–8. DOI: 10.1109/HAPTIC.2002.998952
- Martínez, A., 2018. Universidad Autónoma de México, México.
- S. Pabon, E. Sotgiu, e. a., 2007. A data-glove with vibro-tactile stimulators for virtual social interaction and rehabilitation. 10th Annual International Workshop on Presence 1, 345–348.