

## Ensayos

# Uso del sistema háptico con fines en el área de evaluación, rehabilitación y diagnóstico motriz en miembros superiores

### Resumen

Una discapacidad motriz en miembros superiores de un individuo generado a partir de una lesión impuesta por un accidente físico, representa un problema en la vida cotidiana de una persona. En Oaxaca el 7.2% de la población sufre algún tipo de discapacidad motriz y a nivel nacional el 0.81% de la población. Un problema que resulta de estos accidentes es la etapa de rehabilitación. Los pacientes deben asistir a centros de rehabilitación durante largos periodos. Al final el médico especialista realiza una evaluación del estado físico del paciente, sin embargo el informe está basado en información subjetiva, y por consiguiente en ocasiones el diagnóstico no resulta del todo verdadero. El siguiente trabajo presenta el diseño y desarrollo de una plataforma experimental, misma que tiene la finalidad de resolver el problema de la evaluación. Para ello es implementada la arquitectura del sistema háptico, la cual está conformada por un dispositivo (Novint Falcon), ambientes virtuales a partir de laberintos con niveles de dificultad básico, intermedio y avanzado, además de un equipo de sonido que agrega inmersión con los ambientes virtuales. El sistema tiene la intención de ser considerado un instrumento eficaz y eficiente en la evaluación y rehabilitación a distancia.

### Abstract

A motor disability of the upper limbs caused by an injury suffered in an accident is a problem in that person's daily life. In Oaxaca, 7.2% of the population suffers from some type of motor disability, whereas the statistic is 0.81% nationwide. A problem resulting from these accidents is the rehabilitation stage. Patients must frequent rehabilitation centers for extended periods of time. Eventually the specialist makes an assessment of the patient's physical state, but the report is based on subjective information, and therefore sometimes the diagnosis is not entirely true. This paper presents the design and development of an experimental platform that aims to solve the problem of evaluation. For this purpose, the haptic system architecture is implemented, which consists of a device (Novint Falcon); virtual environments of mazes with basic, intermediate, and advanced levels of difficulty; and a sound system that provides immersion in the virtual environments. The system is intended to be considered an effective and efficient tool in long-distance evaluation and rehabilitation.

### Résumé

Un handicap moteur des membres supérieurs d'un individu, généré à partir d'une blessure suite à un accident physique, représente un problème dans la vie quotidienne d'une personne. À Oaxaca 7,2% de la population souffre d'un handicap physique et à l'échelle nationale 0,81% de la population. Un problème résultant de ces accidents est la phase de réhabilitation. Les patients doivent fréquenter les centres de réadaptation pour des périodes de temps prolongées. A la fin, le spécialiste procède à une évaluation de la condition physique du patient, mais le rapport est basé sur des informations subjectives, et donc parfois le diagnostic n'est pas tout à fait vrai. Ce travail présente la conception et le développement d'une plate-forme expérimentale, unique, qui vise à résoudre le problème de l'évaluation. Pour cela est mise en place l'architecture de système haptique, constituée d'un dispositif (Novint Falcon), d'environnements virtuels à partir de labyrinthes de niveaux de difficulté basique, intermédiaire et avancé et en plus, d'une stéréo qui permet une immersion avec les environnements virtuels. Le système a pour but de devenir un outil efficace et efficient dans l'évaluation et la réadaptation à distance.

Alejandro Jarillo Silva<sup>1</sup>, Luis Ángel González Rojas<sup>1</sup>, Mónica del S. Ortiz Mesina<sup>2</sup>

**Palabras clave:** dispositivo háptico, ambientes virtuales, base de datos, automatización, discapacidad motriz

## I Introducción

Una persona a lo largo de su vida es susceptible a sufrir lesiones que pueden originar alguna discapacidad motriz, tanto en las extremidades superiores como en las inferiores según sea el tipo de lesión. Algunas de las causas de estas lesiones son las mismas actividades cotidianas que realizan día con día; por ejemplo, deportes tales como el atletismo,

<sup>1</sup>Universidad de las Sierra Sur, Instituto de Informática,

<sup>2</sup>Unidad de Medicina Familiar No. 19, IMSS-Colima

gimnasio, fútbol americano, entre otros no menos realizados. Otro de los factores son los accidentes de trabajo, automovilísticos, caídas, etc. Sin embargo no es la única manera de que una persona sufra una discapacidad motriz, también puede ser generada a partir de una lesión neurológica, tal es el caso de las enfermedades de Parkinson, ataxia, esclerosis múltiple, embolia, entre otras que paralizan de manera parcial o total el movimiento cinemático de los miembros superiores e inferiores. Por lo que es necesario que este tipo de pacientes inicien una rehabilitación adecuada lo antes posible para su pronta recuperación.

Hoy en día las técnicas de terapia física convencional han sido la base del tratamiento en la mayoría de los pacientes neurológicos (Sánchez y Valverde, 1994); no obstante, estas técnicas son de eficacia cuestionable (Paci, 2003). Taub describe que el uso forzado de la extremidad parética aumenta sustancialmente el área de activación cerebral en la corteza lesionada y funcionalidad de la extremidad (Boake, Noser, Ro, Baraniuk, Gaber, Johnson, Salmeron, Taub, 2007). Además, estudios recientes confirman que el movimiento del brazo junto a un objetivo específico se traduce como un mayor aprendizaje motriz a nivel cortical y en consecuencia una mayor recuperación motora en comparación con las técnicas de facilitación/inhibición convencionales (Colombo, Pisano, Micera, Mazzone, Delconte, Carozza C. 2008). La rehabilitación neuromotora tiene como reto principal diseñar métodos eficaces con la finalidad de proporcionar una terapia repetitiva y específica para el miembro torácico parético, estos procesos deben ser multimodales para facilitar la recuperación de la función, deben involucrar las funciones cognitivas, además de ser atractiva para mantener la atención del paciente, ser fácil (usable) de entender y debe evitar la saturación de información en el paciente (no sobrecargar la memoria del paciente) (Subramanian, Knaut, Beaudoin, McFadyen, Feldman, Levin, 2007).

Los principales retos en la investigación de la rehabilitación motriz son: la falta de consistencia en las medidas empleadas, la gran heterogeneidad en los grupos de pacientes y de intervenciones, además de la falta de seguimiento que se le dé a los mismos (Janet y Shepherd, 2002). Para dar solución a estos retos es importante el desarrollo de nuevas tecnologías que ayuden de manera parcial o total la documenta-

ción del progreso del paciente y el estado en que se encuentra durante el transcurso de su rehabilitación. En los centros de rehabilitación del estado de Oaxaca, por ejemplo, el Centro de Rehabilitación y Educación Especial, el Centro de Rehabilitación Infantil, entre otros, los fisioterapeutas carecen de una evaluación sistemática en los métodos de tratamiento y, por lo tanto, no obtienen una retroalimentación objetiva del progreso del paciente.

Por otra parte la rehabilitación mediante realidad virtual (RV) permite el entrenamiento repetitivo y dirigido del miembro torácico parético, otorga un ambiente multisensorial que favorece los mecanismos de neuroplasticidad (Sánchez I, Hernández J, Sucar E, Leder S. 2009). Los programas de rehabilitación se dirigen a recuperar en el mayor grado posible la funcionalidad de los segmentos del hemicuerpo dañado; sin embargo la mayoría de los tratamientos actuales son prolongados y significan un alto costo para las instituciones y familiares. Los pacientes durante este proceso experimentan también la frustración al no cumplir con las expectativas de su tratamiento, condicionando el abandono de los servicios de rehabilitación o el nulo trabajo complementario en casa.

Investigaciones han sustentado que el uso de sistemas robóticos dentro del área de rehabilitación han dado resultados favorables en el rendimiento, sin embargo estos sistemas resultan ser difíciles de adquirir por las instituciones y la propia sociedad dado su costo elevado. En este trabajo se plantea una posible solución considerando la implementación de dispositivos de interacción de bajo costo fusionados con ambientes de realidad virtual y un sistema de adquisición de datos que en conjunto conforman un sistema global para rehabilitar, evaluar y diagnosticar a pacientes con discapacidad en miembros superiores.

## 2 Desarrollo

Todas las personas son diferentes en cuanto a edad, altura, peso, raza, sexo, por ejemplo, existen personas jóvenes y adultas con capacidades diferentes, y sus habilidades varían de persona en persona. Todos los días se usan diferentes productos en la vida diaria, que han sido diseñados para personas que pueden cubrir cierto rango de habilidades, por ejemplo, cepillo de dientes, bicicletas, automóviles, computadoras, electrodomésticos, entre otros. Lo mismo pasa para

la rehabilitación y terapia de un paciente con una discapacidad motriz en miembro superior, debido a que es difícil diseñar un instrumento que cubra con todas las necesidades de cualquier paciente, por tal motivo se desarrolla una plataforma, que es integrada por un dispositivo háptico Novint Falcon, laberintos virtuales mostrados en una pantalla, un pantógrafo para ampliar el espacio de trabajo, una Base de Datos y Bocinas para la amplificación del sonido durante la rehabilitación. Dicha plataforma está basada en el diseño centrado en el usuario (DCU), ya que el modelo DCU es considerado como una herramienta indispensable para el éxito de cualquier plataforma experimental. En esta sección se presenta el diseño y el desarrollo de un sistema háptico para rehabilitación.

## 2.1 Requisitos preliminares

A continuación se describen los requisitos que el sistema debe de cumplir:

- Dar de alta y baja a pacientes en una base de datos.
- Asignar a cada paciente un nombre de usuario y contraseña.
- La administración del sistema se lleva a cabo por personal autorizado.
- Los ambientes virtuales para la interacción se definen a partir de 3 laberintos diferentes con distinto grado de dificultad.
- Almacenar información cada vez que un paciente resuelva un laberinto. Se deben guardar datos de posición operacional, fuerza y número de colisiones.
- El sistema debe presentar resultados gráficos que representen el desempeño del paciente en cada uno de los ejercicios realizados.
- El sistema tendrá la capacidad de guardar datos de la evaluación con índices de discapacidad motriz, así como la capacidad de exportar estos datos a un formato de archivo de uso general .txt o .csv.

## 2.2 Análisis de usuarios

La plataforma se dirige a tres diferentes tipos de usuario: el paciente, el terapeuta y el especialista, el primero accede al sistema de terapia para efectuar las pruebas de rehabilitación, el terapeuta es responsable de auxiliar al paciente al momento de usar el sistema,

y el especialista lleva el control de reportes y de pacientes. En la Tabla 1 se muestra los tipos de usuarios y su rol en el sistema.

Tabla 1. Descripción de los usuarios

Actor	Papel
Paciente	Es el usuario el cual se encuentra en etapa de rehabilitación, su función principal es la de resolver cada uno de los ejercicios que se le presenten.
Terapeuta	Es la persona responsable de brindar ayuda al paciente para que pueda ingresar y usar el sistema.
Especialista	Es la persona que lleva el control del sistema, inserción de nuevos usuarios, evaluación de reportes.

## 2.2 Arquitectura del sistema háptico

Los elementos que constituyen un sistema háptico son tres principalmente: un dispositivo háptico, una computadora donde se genera un ambiente virtual, y un operador humano que cierra el lazo. En la Fig. 1 se muestra el esquema que define un sistema háptico mismo que es descrito a continuación:

1.-**Biomecánica del contacto** (dispositivo háptico): Cuando un operador humano interactúa con un dispositivo háptico se emplean modelos de elemento finito para entender la actuación de las fuerzas de los dedos sobre el contacto con el ambiente virtual en información táctil.

2.-**Neuropsicología del tacto** (sensores biomecánicos): Durante un sensado táctil las señales nerviosas percibidas de los dedos son enviadas al cerebro en donde son grabadas y analizadas.

3.-**Percepción humana** (decisión sensorimotor): La habilidad humana para percibir las propiedades de los objetos, tales como temperatura, forma, textura y suavidad es medida utilizando equipo controlado con computadoras digitales y métodos psicofísicos.

4.-**Acción motriz** (actuación): La habilidad humana para controlar fuerzas de contacto durante la exploración y manipulación es caracterizada para conocer las limitaciones sensoriales.

5.-**Evolución del dispositivo háptico** (actualización del objeto virtual): La estimulación del sentido

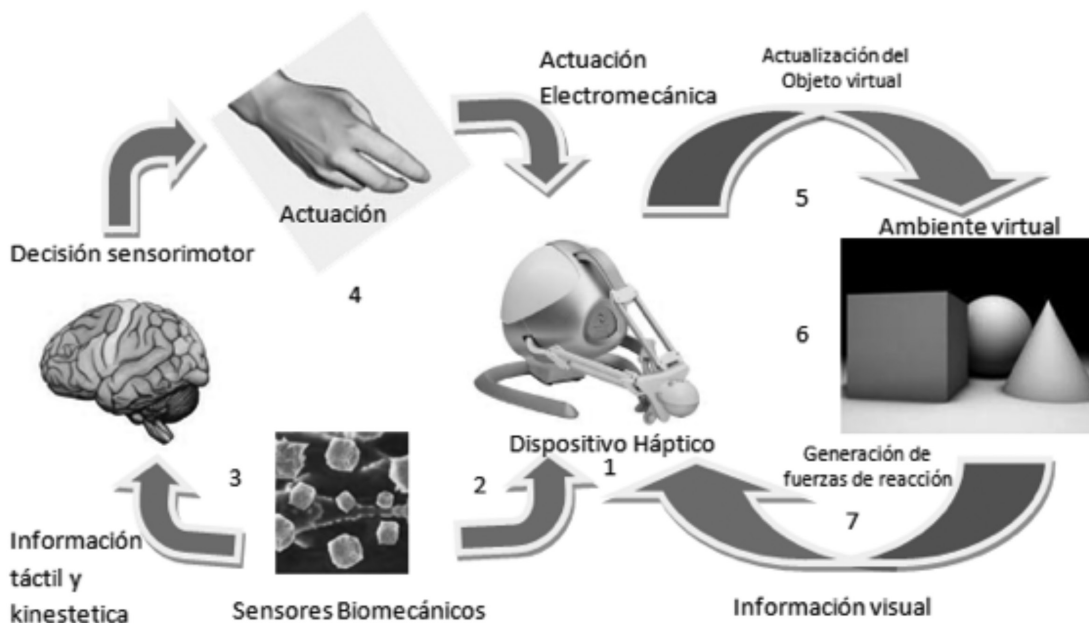


Fig. 1 Arquitectura del sistema háptico

del tacto se lleva a cabo mediante el envío de información de posición y velocidad a la computadora, la cual procesa y cambia el ambiente virtual.

**6.-Herramientas de software para simulación de espacios virtuales:** El software hace uso del GPU (Graphic Processor Unit) para llevar a cabo la generación de ambientes virtuales interactivos y así estimular con atributos visuales, auditivos y hápticos al operador humano.

**7.-Interacción hombre-máquina** (generación de fuerza reacción-dispositivo háptico): experimentos son realizados para investigar cómo controlar las alteraciones del despliegue visual, auditivo y háptico y que afectan la percepción humana. Los resultados son empleados para conocer las limitaciones tecnológicas y son aplicables al diseño óptimo de interfaces hombre-máquina.

## 2.2 Generación de los ambientes virtuales

Los ambientes virtuales son una parte fundamental en el diseño de la plataforma, de éstos depende el grado de inmersión que el usuario final tenga al usar el dispositivo. Por otra parte es posible crear un ambiente virtual con gran calidad de realismo, pero si el equipo de cómputo utilizado no reúne las características para acelerar el proceso de renderización (capacidad de modificar la representación del humano en el am-

biente de visualización virtual en tiempo real) resulta un problema durante la interacción. Otro problema que surge cuando el ambiente virtual no se encuentra sincronizado con el dispositivo háptico, el cual tiene sensores de posición y velocidad angular donde esta información es enviada al algoritmo para la asignación de comportamiento complejo, modificando la representación del humano en el ambiente virtual y evaluando instantáneamente un algoritmo para la detección de contacto con objetos del mundo virtual.

Los ambientes virtuales se desarrollan bajo la herramienta CHAI3D, la cual es un API que contiene librerías de uso general para la manipulación de gráficos con sincronización de dispositivos hápticos usando hilos de procesamiento (Stanford, 2012). Están elaborados en lenguaje de programación C++, con licencia de software libre GPL (General Public License) y que han sido pre-compiladas para usarse en plataformas windows, Linux y Mac OS-X, las características de hardware son compatibles con estas librerías, además que ofrecen soporte para dispositivos hápticos tales como delta.x, omega.x, falcon, phantom y freedom6. Una escena virtual se compone básicamente de una fuente de luz, objetos de interacción y una cámara, para efectos hápticos se debe de implementar una herramienta virtual, la cual será el punto donde se tendrá contacto con el

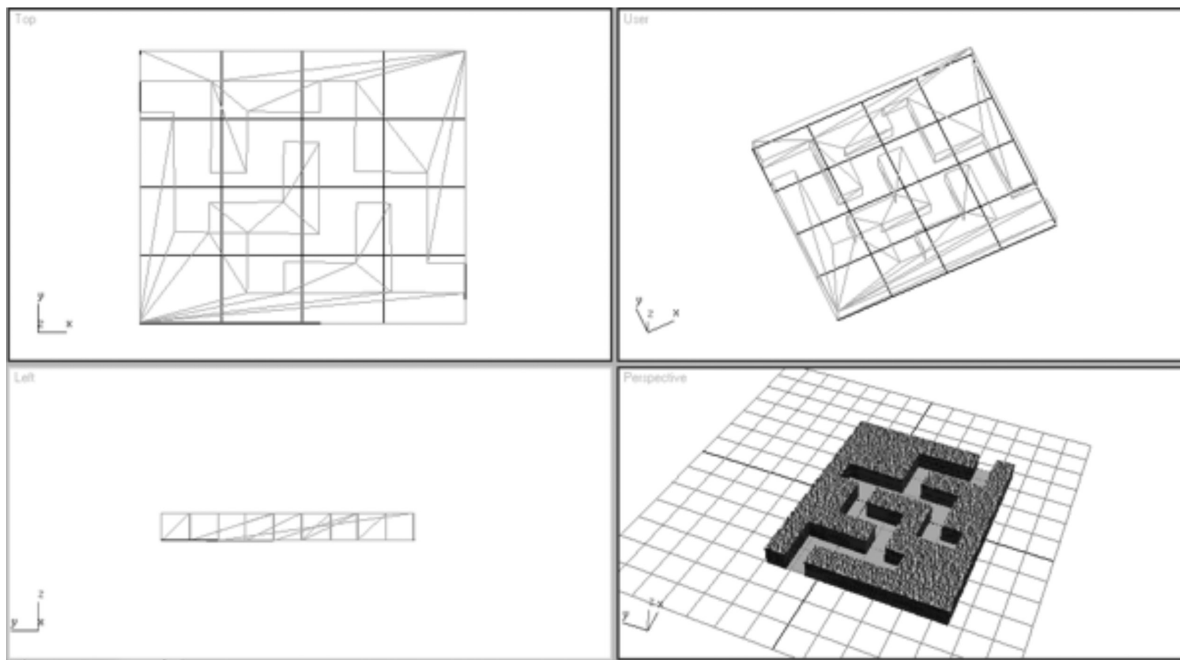


Fig 2. Representación esquelética de los laberintos

ambiente, CHAI3D implementa una escena virtual a partir de árboles n-arios.

La creación de los ambientes virtuales necesitan de herramientas especializadas para su elaboración, algunos programas para este tipo de tareas son 3ds Max studio, Blender, Autocad entre otros. En este caso se utilizó 3ds Max en la Fig. 2 se muestra la creación esquemática de los laberintos que se emplean en la plataforma experimental. A partir de líneas se dibuja el laberinto en dos dimensiones, después con la aplicación de una instrucción se le da volumen 3D, el siguiente paso es aplicar texturas que le dan forma al objeto. Una textura es una simple imagen 2D que ha sido previamente creada con forma de traje envolvente, a cada triángulo se le asigna una porción de la textura la cual es almacenada con coordenadas bidimensionales por cada vértice del triángulo llamadas coordenadas UV (UV denotan a las coordenadas de dos dimensiones de una textura plana).

Después de la creación de la escena virtual en 3dsMax el siguiente paso es la exportación, para ello se considera que toda figura en 3d es posible descomponerla en triángulos, los programas de diseño 3d (3dsMax, Blender, Maya) generan un archivo el cual puede ser binario o de texto, dicho archivo contiene todos los vértices del objeto en sus coordenadas cartesianas (X,Y,Z), también se almacenan todos los triángulos que componen la figura ligados a sus

vértices y coordenadas UV del mapeo de texturas, una vez generado este archivo una aplicación de uso específico debe ser capaz de cargar estos datos en memoria y mandarlos a dibujar a bajo nivel con el uso de primitivas de dibujo (líneas, puntos, polígonos), para esto se implementa un algoritmo que sea capaz de re-estructurar cada triángulo, calcular un vector de dirección para iluminación, leer y aplicar texturas al objeto, en la Fig. 3 se muestran los tres laberintos con niveles distintos de complejidad que implementa la plataforma.

Para establecer una retroalimentación háptica con el ambiente virtual es necesario implementar en tiempo real algoritmos de detección de colisiones, en la implementación se hace uso del algoritmo AABB (Árbol de cajas delimitadoras) (Manén, 2010). Los árboles de cajas delimitadoras son arboles binarios de cajas delimitadoras que cumplen que la caja de cada padre contiene las cajas de sus dos hijos.

### 2.3 Base de datos

El propósito de la implementación de una base de datos dentro de la plataforma es con la finalidad de respaldar el historial de ejercicios que cada paciente ha efectuado durante la etapa de su rehabilitación, también para que al final de ésta se pueda generar una serie de reportes donde el especialista pueda determinar si ha encontrado alguna diferencia que



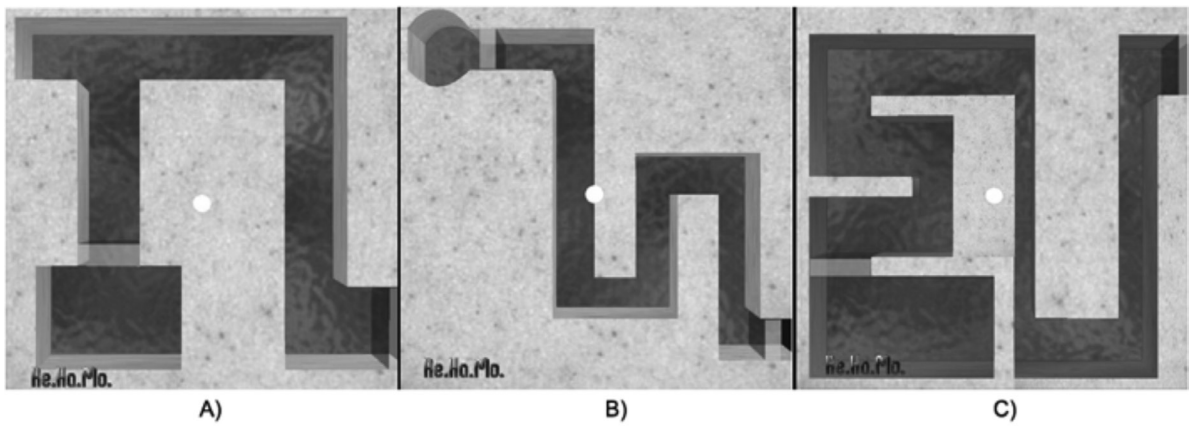


Fig. 3 Niveles de laberintos

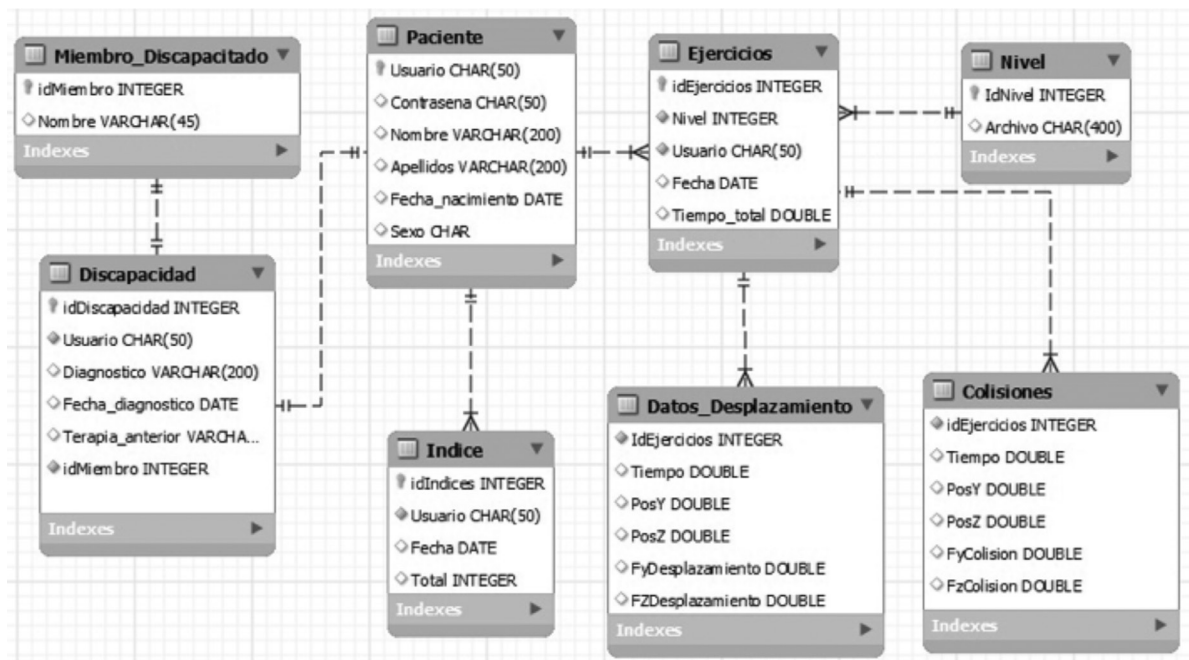


Fig. 4 Diseño de la base de datos

pueda ser considerada como una mejora en el paciente. El diseño de la base de datos cuenta con las tablas que se muestran en la Figura 4.

- En la tabla Paciente se guardan datos personales que sirven para identificar a cada paciente y diferenciarlos unos de otros. A cada paciente le corresponde un identificador único que es usado en las demás tablas.
- La tabla Ejercicios almacena todos los ejercicios efectuados por el paciente en la fecha realizada, con el tiempo de duración del ejercicio, número de colisiones y el nivel realizado.
- La tabla Índices almacena el historial de las evaluaciones calculadas con el índice de evaluación de constant.

- La tabla Discapacidad almacena información referente al diagnóstico así como la fecha de diagnóstico de la enfermedad, el miembro discapacitado y si en caso de haber llevado antes una terapia también se puede especificar.
- La tabla Nivel contiene todos los niveles y ruta de acceso al laberinto, esta tabla se implementa con la finalidad de aumentar más niveles a largo plazo.
- La tabla Datos Desplazamiento almacena todos los datos de posición, fuerza y error.
- La tabla Miembro Discapacitado contiene una lista de todos los miembros que forman parte de los miembros superiores.

## 2.4 Índice de evaluación de rehabilitación

Para medir el grado de funcionalidad del hombro se implementa el índice de Constant- Murley, el cual es el sistema de evaluación funcional más utilizado en Europa y que, en 1989, fue aprobado por el Comité Ejecutivo de la Sociedad Europea de Cirugía del Hombro y Codo (SECEC). La evaluación consiste en una escala genérica, simple de utilizar y de interpretar y, según sus autores, se puede aplicar con independencia del diagnóstico o condición patológica del hombro. Incluye cuatro parámetros: dolor, actividades de la vida diaria, rango de movilidad y fuerza. Cada parámetro tiene una puntuación individual cuya suma total máxima es de 100 puntos (Tabla 2). A mayor puntuación, mejor función (Barra, 2007).

Tabla 2.- Índice de Constant

Parámetro	Valor
Dolor	15 puntos
Actividades de la vida diaria	20 puntos
Movilidad	45 puntos
Fuerza	25 puntos

## 2.5 Dispositivo háptico Novint Falcon

La HDAL (Capa de abstracción del dispositivo háptico) es el modelo de arquitectura con el que está implementado el sistema del Novint Falcon, el cual consiste en un sistema de capas que se comunican con el software de aplicación. La aplicación está conformada de dos principales componentes: la simulación gráfica compuesta de ambientes virtuales y el componente de simulación háptica que contiene la lógica de control del dispositivo. La aplicación se comunica con la HDAL a través de su API, a la cual se le envía como parámetro una función que es llamada a cada lectura de los servos (actuadores), con lo que se proporciona la posición y la fuerza del dispositivo en tiempo real (Fig. 5).

El dispositivo háptico Novint Falcon cuenta con las siguientes características :

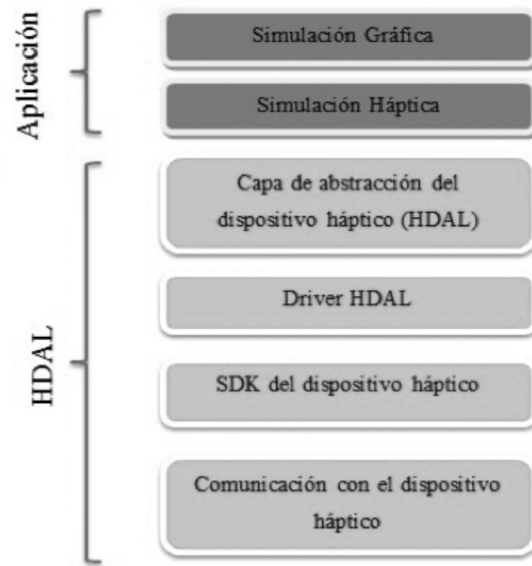


Fig. 5 Estructura de la HDAL del dispositivo Novint Falcon.

- El área de trabajo es aproximadamente de 10.16 x 10.16 x 10.16 cm (Fig. 6).
- Las capacidades de fuerza son mayores a 0.90 kilogramos.
- Suministra 400 dpi (puntos por pulgada) en resolución de posición cartesiana.
- Interfaz de comunicación USB 2.0.
- 1.81 kilogramos de peso.
- Consume 30 watts, 110v-240v, 50Hz-60Hz.
- Usa 3 motores Mabuchi RS-555PH-15 con codificadores ópticos de 320 líneas por revolución.

El dispositivo es del tipo paralelogramo, usa una variante de 3 grados de libertad [x,y,z] de la configuración original del robot Delta. Tiene incorporados efectores finales que pueden removerse fácilmente cuando el dispositivo está en uso y puede seguir trabajando de manera normal. Ejemplos de estos efectores son: una pistola y un sujetador esférico (Fig. 6). El primero se usa constantemente en video juegos y el segundo sirve más como apuntador.

El dispositivo se comunica con la computadora a través de la interfaz USB 2.0, la computadora envía y recibe señales de control las cuales son interpretadas por el sistema de control del dispositivo y enviado a los motores. Éstos, a su vez, cuentan con codificadores ópticos para la lectura de la posición angular. El desarrollo de la aplicación se realiza bajo el lenguaje C++ con ayuda del API en su versión 2.1.3 del HDAL,

el cuál otorga al usuario programador dos visiones, una a bajo nivel y otra a alto nivel para su uso.

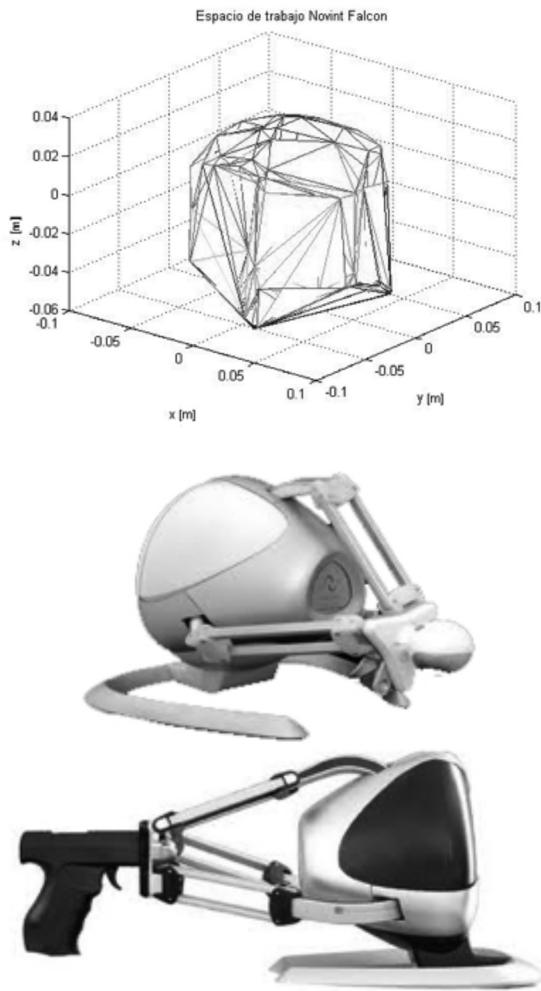


Fig. 6 Área de trabajo del dispositivo háptico Novint Falcon

Debido a que existen tres tipos de usuario, se propone utilizar dos interfaces de usuario una donde el terapeuta y el paciente interactúan y otra donde el especialista administra y consulta reportes de cada paciente. El prototipo de hardware se compone por un dispositivo Novint Falcon, con ayuda de una computadora que es la encargada de llevar a cabo la presentación de ambientes virtuales. Un aditamento adicional para aumentar el espacio de trabajo consiste en la sujeción de la plataforma sobre una base plana de 40 cm de ancho y 60 cm de largo a una altura de 12 cm, además se coloca sobre la plataforma una extensión que consiste en un pantógrafo para aumentar el espacio de trabajo.

El pantógrafo (Fig. 7) tiene la posibilidad de adaptarse fácilmente al dispositivo háptico cuando está en funcionamiento, consiste en el conjunto de cuatro barras formando un paralelogramo que toma ventaja del espacio entre las uniones para producir una ampliación, el punto A queda fijo a la base de la plataforma, el punto C va unido al efector final del Novint con la finalidad de ir trazando la trayectoria deseada, que es representa de forma amplificada en el punto F. Las características técnicas del equipo de cómputo son las siguientes:

- \* Procesador AMD Turion x2 a 2.00 GHz.
- \* 2.00 Gb en RAM DDR II 667 mhz.
- \* Sistema operativo windows 7 service pack 1.
- \* Tarjeta de video ATI Radeon x1250 con 128 MB de memoria compartida.
- \* Controlador ATI SB600-OCHI USB 2.0.

## 2.5 Prototipo

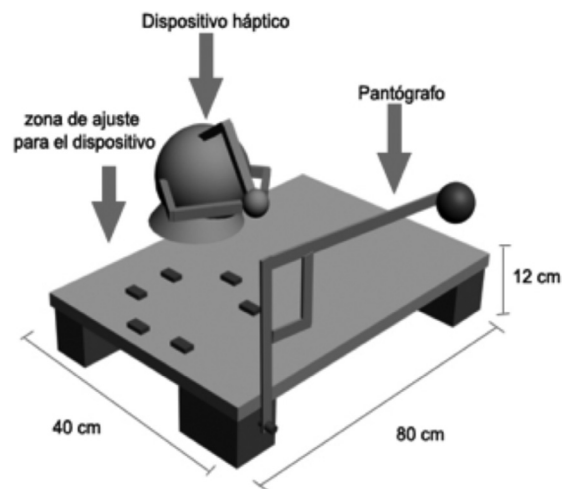
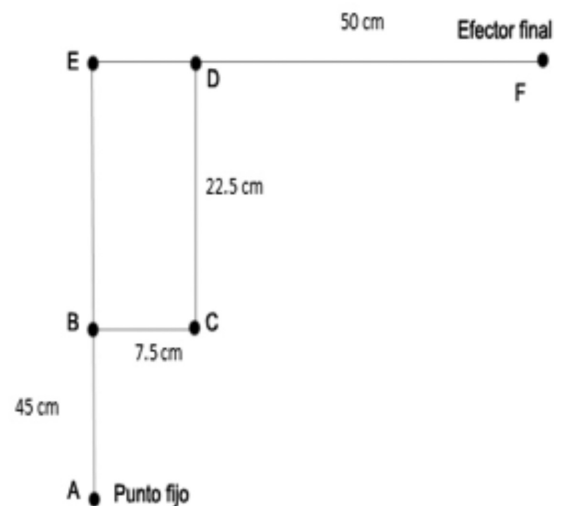


Fig. 7 Aumento del espacio de trabajo





### 3 Resultados

Un aspecto a considerar cuando se realiza una evaluación sobre un instrumento, sistema o artefacto, es el tema de los grupos de estudio. En este trabajo de investigación se diseña una plataforma experimental, y para medir el impacto, se establecen dos grupos: el grupo de control y el grupo experimental.

Se seleccionaron pacientes provenientes del Centro de Rehabilitación y Educación Especial (CREE) ubicado en la ciudad de Oaxaca, el cual proporciona el servicio de rehabilitación extra hospitalaria, principalmente a pacientes de escasos recursos económicos, en las áreas de medicina física y rehabilitación, comunicación humana, terapia física, terapia ocupacional y terapia de lenguaje. Con el objeto de propiciar su integración al medio laboral y social. Se llevó a cabo un vínculo con los especialistas que laboran en esta unidad médica para conformar la evaluación en el área de mecanoterapia donde resulta necesario contar con dos grupos de análisis, los cuales son descritos en la siguiente sección.

#### 3.1 Grupo de control

Se empleó un grupo control para la validación de resultados. Esto se puede emplear para la validación en cadena. Para este diseño experimental se aplicaron criterios de exclusión y se determinó el número de elementos. Una vez establecido, se procedió a la toma de muestras. Para la selección del grupo control con fines de rehabilitación motriz los factores de exclusión considerados fueron los siguientes:

- Tener una edad menor a 11 y mayor a 24 años.

- Tener antecedentes de fracturas en algún miembro superior.
- Padecer artritis reumatoide.
- Tener antecedente de parálisis.
- Con historial de crisis convulsivas o epilepsia.
- Ser consumidor frecuente de bebidas embriagantes.

Posteriormente, se familiariza el sujeto con el sistema durante 5 minutos. Siguiendo con la solución a 3 ambientes virtuales. Durante la interacción las variables cuantitativas que se consideraron para su análisis se basaron en el desempeño del usuario durante cada instante de tiempo. La primera variable corresponde al error generado entre la posición ( $X_{ref}$ ) y la posición ( $X_p$ ) de tal manera que  $e = X_{ref} - X_p$  donde  $X_{ref} = [Y, Z]^T$  corresponde al vector de posición de referencia y  $X_p = [Y_p, Z_p]^T$  determina el vector de posiciones actuales del usuario. La segunda variable es el número de colisiones generados ( $N_c$ ) durante la interacción y el momento en que llevó a cabo cada uno de ellas. La tercera variable es el tiempo final ( $t_f$ ) que define el tiempo en que el usuario resolvió de manera exitosa el laberinto.

Nivel	Tiempo de recorrido	Número de colisiones	Error absoluto de posición
uno	14.1 segundos	dos	100.81
dos	15.04 segundos	tres	60.74
tres	16.84 segundos	seis	76.12

En la Fig. 8 se muestra el desempeño de un integrante del grupo de control, el cual tuvo varias colisiones sin embargo logró terminar con éxito cada uno de los niveles.

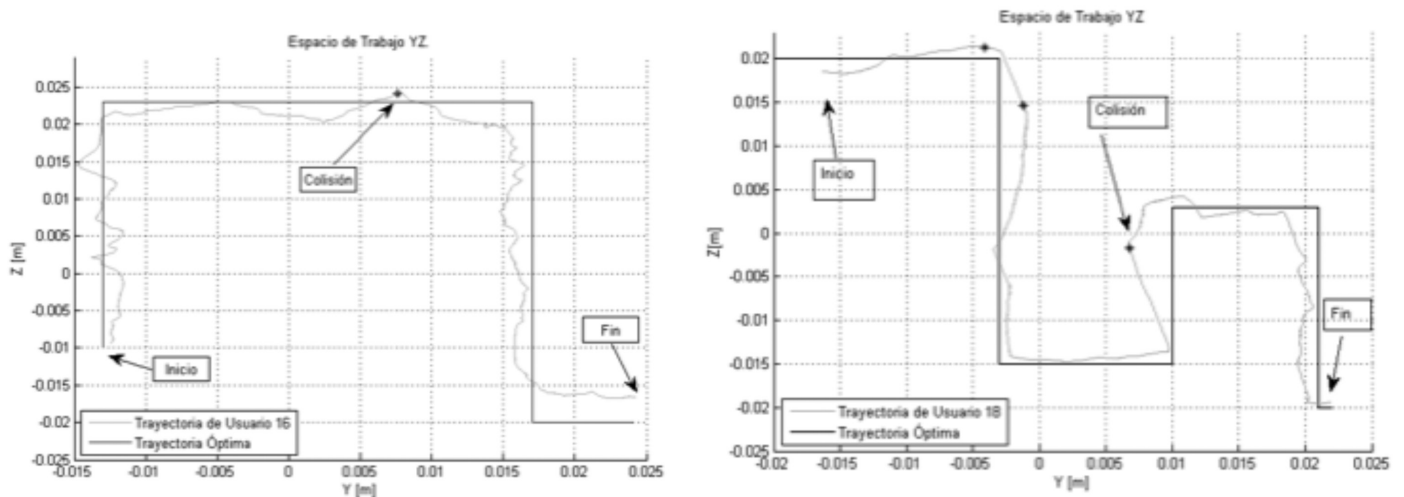


Fig. 8 Desempeño de un integrante del grupo de control

### 3.1 Grupo de estudio

Para el grupo de estudio se integró con el mismo número de individuos que en el grupo control, sin embargo en el área de rehabilitación es difícil encontrar una cantidad considerable de pacientes con un diagnóstico semejante en un corto plazo, por lo que este trabajo de investigación se limitó a elaborar una prueba piloto con algunos pacientes. Para ello en el CREE se tuvo acceso a tres expedientes, de los cuales sólo 2 pacientes asistieron a las sesiones de terapia en los horarios asignados. A continuación se presentan los resultados obtenidos de un paciente del grupo de estudio, los resultados del otro paciente fueron omitidos debido a contar con antecedentes de terapia en otros centros de rehabilitación debido a su diagnóstico de lesión del plexo braquial derecho. En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos de los tres ejercicios que contemplaron la terapia. El paciente debido a su discapacidad motriz tiene un mayor número de colisiones y el tiempo en terminarlo es mayor que el promedio del grupo de control. En la Fig. 9 se presenta los resultados del nivel 1 y 3 donde se observa el desempeño del paciente generando una serie de movimientos al inicio del nivel 1 y un mayor de colisiones en el nivel 2.

Tabla 4. Resultados del grupo de estudio

Nivel	Tiempo de recorrido	Número de colisiones	Error absoluto de posición
uno	17.1 segundos	9	223.63
dos	9.67 segundos	6	69.49
tres	14.41 segundos	11	79.08

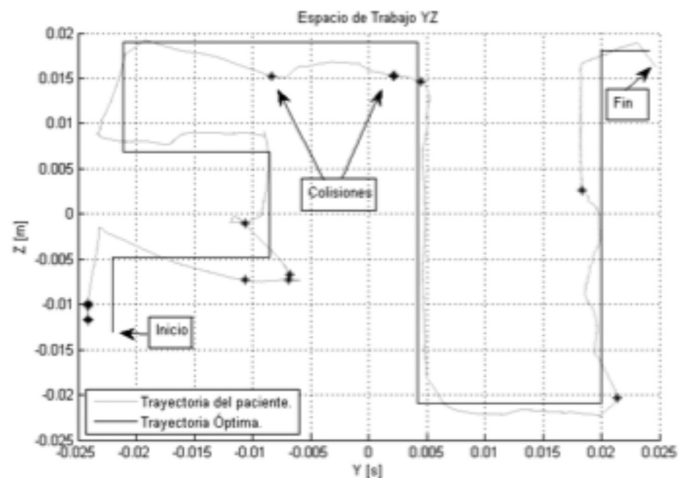
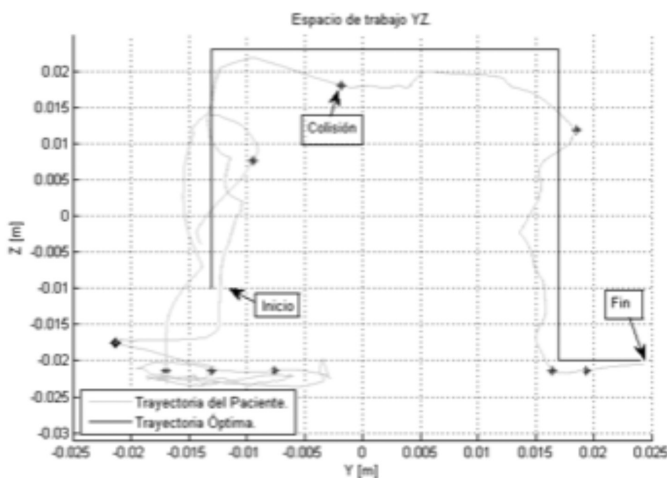



Fig. 9 Desempeño de un paciente con discapacidad motriz

A partir de la interacción Paciente-Plataforma REyEMO se observó la empatía del paciente hacia el uso del dispositivo háptico, a tal grado que el paciente mencionó la frase "Sería agradable que todas las terapias fueran así", sin embargo el requerimiento de una persona que le apoye al inicio siempre será necesario. En el área de trabajo se contempló siempre la comodidad del paciente cuidando los efectos físico y visual de la luz natural sobre la pantalla, control de aire acondicionado, el control de ruidos y perturbaciones externas (Interrupciones).

### 4 Conclusiones

La validación de un resultado usando grupos de control requiere de una gran cantidad de tiempo. En estudios previos se observa que la investigación puede durar hasta 6 años para recabar suficiente información, y así implementar métodos de comparación con los resultados obtenidos.

El estado de ánimo de una persona juega un papel importante durante el proceso de rehabilitación, y por consiguiente debe ser determinado por un estudio previo para no alterar los resultados finales. Un punto a favor de la plataforma es que no ocasiona conflictos de adaptación durante la evaluación. De acuerdo con los especialistas, la plataforma REyEMO es de gran utilidad debido a la capacidad de almacenar datos catalogados mismos que posteriormente podrían ser utilizados para elaborar análisis estadísticos y clínicos. Por otra parte la plataforma no tiene el alcance de dar un posible diagnóstico, debido a que las causas de una discapacidad motriz puede constituirse de varios factores de los cuales la plataforma no tiene la

facultad para medir, por lo que su uso se centra en la evaluación de la rehabilitación donde el uso en esta última proporciona motivación al paciente 

## Bibliografía

- Barra M. (2007). El test de constant-murley. Una revisión de sus características (Inf. Técnico). Centro de Atención Primaria Sant Ildefons.
- Boake C., Noser, EA., Ro T., Baraniuk S., Gaber M., Johnson R., Salmeron ET, Taub E. (2007). Constraint-induced movement therapy during early stroke rehabilitation. *Neurorehabilitation Neural Repair*. Vol. 21(1). 14-24.
- Colombo R., Pisano F., Micera S., Mazzone A., Delconte C., Carozza C. (2008). Assessing mechanisms of recovery during robot-aided neurorehabilitation of the upper limb. *Neurorehabilitation Neural Repair*. Vol. 22. 50-63.
- Manen, S. (2010). Simulación de objetos planos deformables con resolución de contactos y colisiones. Informe Técnico. Núm. 08028. Instituto de Robótica e Informática Industrial (IRI).
- Sánchez I., Hernández J., Sucar E., Leder S. (2009). Actividades simuladas de la vida diaria para rehabilitación motora del miembro superior en pacientes con enfermedad vascular cerebral. *Revista de Neurociencia (México)*, Vol. 14. (4). 237-242.
- Sánchez, B.I., Valverde C. (1994). Valoración de la deficiencia motora del paciente hemipléjico. *Rehabilitación*. Vol. 3. 389-398.
- Stanford, U. (2012). Api de desarrollo chaid3d. Descargado 2 de mayo del 2012, de <http://www.chaid3d.org>.
- Subramanian S., Knaut L.A., Beaudoin C., McFadyen B.J., Feldman A.G., Levin M.F. (2007). Virtual reality environments for post-stroke arm rehabilitation. *Journal Neuroengineering Rehabilitation*. Vol. 4. 20.
- Paci, M. (2003). Physiotherapy based on the Bobath concept for adults with post-stroke hemiplegia: a review of effectiveness studies. *Journal Rehabilitation Medical*. Vol. 35(1). 2-7.