

Desarrollo de un sistema de realidad virtual asistido por dispositivos hápticos para la enseñanza-aprendizaje del sistema Braille

MEDELLIN-CASTILLO, Hugo Iván^{*†}, GALLEGOS-NIETO, Enrique[`], ESPINOSA-CASTAÑEDA, Raquel^{``}, RODRÍGUEZ-OBREGÓN, Diomar^{```}

[`]Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Manuel Nava No. 8, C.P. 78290, San Luis Potosí, S.L.P., México.

^{``}Facultad de Ciencias de la Comunicación, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Karakorum No. 1245, C.P. 78210, San Luis Potosí, S.L.P., México.

^{```}Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Manuel Nava s/n, C.P. 78290, San Luis Potosí, S.L.P., México.

Recibido Enero 7, 2014; Aceptado Mayo 8, 2014

Resumen

El sistema Braille es un método de lectura y escritura para personas ciegas basado en un arreglo de puntos en relieve que la persona ciega puede palpar o sentir. El sistema Braille es el sistema de comunicación para personas ciegas más ampliamente utilizado a nivel mundial; por tanto el aprendizaje de este sistema es de vital importancia para este tipo de personas. Con el propósito de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje del sistema Braille, en este trabajo de investigación se propone y desarrolla un nuevo sistema computacional basado en el uso de tecnologías de realidad virtual y sistemas hápticos. El sistema propuesto tiene como función principal mostrar en pantalla diferentes objetos 3D correspondientes a textos en Braille, para que el usuario (persona ciega) pueda palparlos y sentirlos virtualmente mediante un dispositivo háptico. Los textos Braille virtuales se representan mediante arreglos de fichas 3D correspondientes a las letras del alfabeto; cada letra es una ficha 3D con bordes y puntos en relieve de acuerdo al sistema Braille. Los resultados de las pruebas de evaluación del sistema han demostrado la funcionalidad y utilidad del nuevo sistema como una herramienta eficaz en el proceso enseñanza-aprendizaje del sistema Braille.

Realidad virtual (RV), sistemas hápticos, proceso enseñanza-aprendizaje (PEA), sistema Braille, personas ciegas.

Abstract

The Braille system is a reading and writing method for blind people and is based on an array of superficial dots for the blind to feel and touch. The Braille system is the most widely used communication system for blind people; therefore the learning of this system is an essential need for this type of people. In order to improve the teaching and learning process of the Braille system, in this paper a new computational system is proposed and developed based on the use of virtual reality technologies and haptic systems. The main function of the proposed system is to show on the computer screen different 3D virtual objects, corresponding to Braille texts, in order for the user (blind people) to virtually feel and touch them by means of a haptic device. The virtual Braille texts are represented by arrays of predesigned 3D cells that correspond to the letters on the alphabet; each letter is a 3D cell with edges and superficial dots according to the Braille system. The results of the system evaluation tests have demonstrated the functionality and usability of the new system as an effective tool in the teaching and learning process of the Braille system.

Virtual reality (VR), haptic systems, teaching and learning process (TLP), Braille system, blind people.

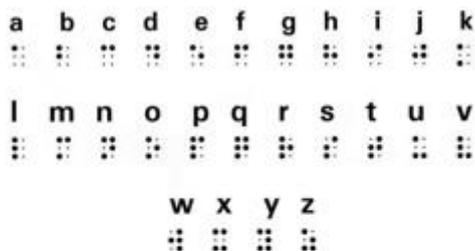
Citación: MEDELLIN-CASTILLO, Hugo Iván, GALLEGOS-NIETO, Enrique, ESPINOSA-CASTAÑEDA, Raquel, RODRÍGUEZ-OBREGÓN, Diomar. Desarrollo de un sistema de realidad virtual asistido por dispositivos hápticos para la enseñanza-aprendizaje del sistema Braille. Revista de Prototipos Tecnológicos. 2015, 1-1:10-22

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: hugoivanmc@uaslp.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

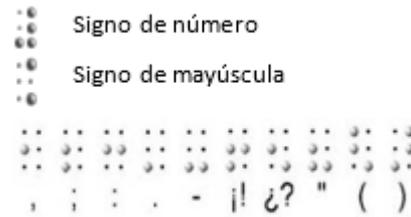
El Braille es el medio de comunicación más utilizado entre las personas ciegas, fue inventado en 1821 por el Francés Louis Braille, quién quedó ciego por un accidente en el taller de su padre. El Sistema Braille consiste en celdas con un arreglo de 6 puntos en relieve distribuidos en dos columnas y tres filas para representar una letra. A cada una de las letras del alfabeto le corresponde un arreglo de puntos específico (Figura 1a); además existen arreglos adicionales para algunos símbolos. Para formar palabras u oraciones se colocan las celdas de cada letra de manera consecutiva (Figura 1b), para representar una letra mayúscula se coloca un símbolo que indica que la siguiente letra es mayúscula, y para números se toman las primeras diez letras del alfabeto y se antepone otro símbolo que indica que los siguientes caracteres son números (Figura 1c). El proceso de enseñanza-aprendizaje de lectura Braille presenta una etapa de identificación donde las personas ciegas tocan las diferentes celdas con puntos en relieve para identificar y aprender las configuraciones de cada letra del alfabeto.



(a)



(b)



(c)

Figura 1 Sistema Braille: a) alfabeto Braille, b) palabras en el sistema Braille, c) algunos símbolos en el sistema Braille.

El incremento en las tecnologías computacionales en las últimas cuatro décadas, ha permitido el desarrollo de sistemas modernos de graficación en los cuales se pueden representar ambientes virtuales muy cercanos a la realidad. La mayoría de los sistemas computacionales modernos consideran al sentido de la vista como el sentido más importante. Sin embargo, los otros sentidos juegan también un papel importante cuando se trata de desarrollar sistemas virtuales lo más cercanos a la realidad, e incluso pueden llegar a ser más importantes que la vista. En la mayoría de las aplicaciones, la combinación de los distintos sentidos produce la sensación de una completa realidad. De esta manera, la representación de ambientes reales requiere la generación de información y señales para todos los sentidos, no solo el de la vista (Ramesh, 2000). Recientemente con el surgimiento de los sistemas hápticos (Brooks et al. 1990) ahora también es posible tocar y sentir objetos en ambientes virtuales.

El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de un nuevo sistema para la enseñanza- aprendizaje del sistema Braille de personas. El sistema propuesto pretende explorar y hacer uso de las aplicaciones de la realidad virtual y los sistemas hápticos en personas ciegas. La realidad virtual permite generar objetos virtuales tridimensionales, que en este caso corresponden a las letras o textos en Braille, y la interacción del usuario con el ambiente virtual se realiza mediante un sistema háptico.

El cual permite a las personas ciegas sentir y tocar las esferas y las fichas que conforman las letras o textos en Braille.

Antecedentes teóricos

Proceso enseñanza-aprendizaje (PEA)

De acuerdo a la teoría General de los Sistemas, el aprendizaje es el cambio en la disposición del sujeto con carácter de relativa permanencia y que no es atribuible al simple proceso de desarrollo o a la maduración. Esta concepción sistémica de la educación se define como “un plan para proveer conjuntos de oportunidades de aprendizaje para lograr metas y objetivos específicos relacionados, para una población identificable, atendida por una unidad escolar” (Saylor y Alexander, 1974). Dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje, estas metas y objetivos no deben ser cumplidos con metodologías cerradas sino flexibles. La pedagogía por objetivos responde a un modelo cerrado de programación que se limita a comprobar el logro de un objetivo. Mientras que la enseñanza, al ser un modelo abierto y flexible, debe considerar el proceso seguido por cada alumno.

De esta manera, los objetivos del proceso de enseñanza-aprendizaje constituyen los fines o resultados, previamente concebidos como un proyecto abierto y flexible, que guían las actividades de profesores y estudiantes para alcanzar las transformaciones necesarias en estos últimos. Como expresión del encargo social que se plantea a la escuela, el PEA sirve como vínculo entre la sociedad y la escuela (Bravo & Cáceres, 2006).

Enseñanza-aprendizaje de personas con discapacidad visual

La percepción sensorial constituye el cimiento del conocimiento para las personas con baja visión, ciegas o normales, dado que todos pasan en su desarrollo por el mismo proceso.

El problema es que las personas con baja visión y ciegos no alcanzan un desarrollo normal en su proceso evolutivo si no se les provoca una situación satisfactoria para que se produzca. La estimulación multi sensorial es particularmente útil para una persona ciega o débil visual porque le permite despertar la conciencia acerca de la presencia de diferentes sensaciones, adquiriendo de este modo información a través de las partes de su cuerpo. Por tanto, el desarrollo de tecnologías TIC que permitan generar estímulos multi sensoriales durante el PEA de personas ciegas o débiles visuales, es de suma importancia. Esto implica exponer al estudiante ante situaciones que exijan una actividad de exploración, de búsqueda de alternativas diversas, de reflexión sobre formas y conductas de realización de actividades personales y grupales.

Los autores Hoolbrook y Koenig (2003) señalan que “el éxito académico de estudiantes con discapacidad visual depende en gran medida del acceso a la formación y a los materiales didácticos”. Así mismo Stratton (1990), resalta que para cubrir las necesidades del estudiante y aprovechar al máximo sus habilidades es importante proporcionar la ayuda y adaptaciones que sean realmente necesarias, considerando que “una adaptación excesiva separa al estudiante de su entorno mientras que una carencia le inhibe del aprendizaje”. Las dos aportaciones mencionadas son claves para comenzar a adentrarse en la educación incluyente de personas con discapacidad visual.

Realidad virtual

Los orígenes de la Realidad Virtual (RV) datan desde el proyecto “the ultimate display” (Sutherland, 1965), en donde se hace referencia a la pantalla o monitor como una ventana a un mundo virtual el cual se percibe, se comporta, suena y se siente como si fuera real.

Existen diversas definiciones de RV, por ejemplo, Ellis (1994) la define como “la proyección interactiva de imágenes virtuales mejoradas y el uso de modalidades no visuales, como la retroalimentación háptica y auditiva, para hacer creer al usuario que está interactuando con objetos reales”. Por otro lado Jayaram y Connacher (1997) la definen como “el uso de ambientes sintéticos generados por computadora y el hardware asociado para proveer al usuario la ilusión de presencia física dentro de dicho ambiente”. Sin embargo, todas las definiciones coinciden en que la RV es un ambiente sintético generado por computadora y otros dispositivos externos que permiten al usuario interactuar con un mundo virtual en el cual los objetos virtuales pueden comportarse como si fueran reales. El concepto fundamental detrás de la RV es la ilusión (Mujber et al. 2004).

El grado de inmersión en un sistema de RV se refiere a que tan profundamente el usuario esta sensorialmente involucrado en el ambiente virtual, es decir, que tanto puede ver, oír, sentir e incluso oler o saborear los objetos virtuales. Existen diferentes niveles de inmersión; por ejemplo, en el nivel más alto de inmersión el usuario estaría completamente aislado del mundo real y utilizaría los cinco sentidos (vista, oído, tacto, olfato y gusto) para interactuar con el ambiente virtual. A la fecha no existe ningún sistema de RV que permita una inmersión total con todos los sentidos. Un nivel bajo de inmersión puede involucrar únicamente uno o dos sentidos, siendo la vista el más común, donde por medio de proyecciones estereoscópicas 3D el usuario puede ver objetos virtuales como si fueran objetos reales. También cada vez es más común el uso de dispositivos hápticos los cuales permiten sentir la forma, textura, rigidez, peso e inercia de los objetos virtuales. De acuerdo al grado de inmersión, Mujber et al. (2004) clasifican los sistemas de RV en: 1) no inmersivos (desktop systems), 2) semi-inmersivos, y 3) totalmente inmersivos.

Las aplicaciones de los sistemas de RV incluyen:

- Medicina: se han desarrollado sistemas virtuales para el diseño de prótesis e implantes (Scharver 2004), sistemas de cirugía por computadora (Girod et al. 1995, Bell et al. 2011, Govea et al. 2012), entrenamiento quirúrgico (Pohlenz et al. 2010), rehabilitación, y tratamientos o terapias para cierto tipo de enfermedades como las fobias (Castañeda et al. 2011).
- Ingeniería: desarrollo de sistemas de diseño y manufactura virtuales (Henderson y Kattethota, 1999, Fischer, et al. 2009), simulación virtual de procesos industriales (Aras y Yip-Hoy, 2007, Lim, et al., 2009, Gonzalez, et al. 2014), entrenamiento virtual de operarios (Pérez y Sanz, 2007, Brough, et al. 2007), fábricas virtuales (Mujber et al. 2004), etc.
- Ciencia: representación y simulación virtual de fenómenos físicos, biológicos y químicos, visualización de información científica, etc.
- Educación: creación de escenarios a escala nano, micro, macro o astronómico, para proveer a los estudiantes el experimentar diversos fenómenos o conceptos en un mundo virtual (Castañeda y Espinosa, 2008).
- Entretenimiento: videojuegos y simuladores que permiten al usuario sentir y manipular objetos virtualmente, o incluso llevar una segunda vida virtual (second life, 2014).
- Arte: exhibiciones virtuales de arte, museos virtuales, conciertos virtuales, escultura virtual de objetos y cine (Medellín et al. 2011).

Sistemas hápticos

La palabra háptico proviene de la palabra griega haptesthai que significa tocar, o lo que es relacionado al sentido del tacto, y se puede interpretar bajo diversos conceptos como son: 1) percepción háptica, que se refiere al proceso mediante el cual se perciben los objetos a través del sentido del tacto; 2) retroalimentación háptica, que se refiere a recibir una fuerza o señal externa para estimular el sentido del tacto; y 3) interfaz háptica, que se refiere a los dispositivos encargados de generar la señal de retroalimentación háptica.

Similar a la gráfica computacional, el renderizado háptico computacional provee la proyección de objetos a las personas de una manera interactiva, pero con la diferencia de que los objetos virtuales pueden ser tocados o palpados. El renderizado háptico es el proceso general de sentir o tocar objetos virtuales, e incluye retroalimentación táctil para sentir propiedades tales como textura superficial y forma, así como retroalimentación kinestésica para sentir la dureza, peso e inercia de los objetos. De acuerdo con Burdea (1996) los dispositivos hápticos permiten obtener de manera general tres tipos de retroalimentación:

- Retroalimentación táctil o cutánea, la cual es útil para reconocer la textura, forma o incluso la temperatura de los objetos virtuales.
- Retroalimentación de fuerza cinemática, la cual permite reconocer el peso, inercia y dureza de los objetos virtuales, y en su caso, colisiones con otros objetos virtuales.
- Retroalimentación propioceptiva, la cual permite capturar la posición y orientación del objeto virtual en un espacio tridimensional.

Las interfaces hápticas son comúnmente utilizadas para habilitar el sentido del tacto y cinestesia al manipular objetos virtuales en un ambiente de RV. Sin embargo también pueden ser utilizadas para la manipulación a distancia de sistemas reales. Las interfaces hápticas se comportan como un pequeño robot que intercambia energía mecánica con el usuario. Aunque estas interfaces pudieran interactuar con cualquier parte del cuerpo humano, las interfaces manuales han sido las más desarrolladas e utilizadas hasta la fecha, Figura 2. Existen actualmente en el mercado varios dispositivos hápticos, entre los que destacan el Phantom Omni y el Phantom Desktop de Sensable®, el Falcon de Novint®, y el Virtuose de Haption®.



Figura 2 Sistema háptico Phantom Omni de Sensable®.

Sistemas y aplicaciones para ciegos

Recientemente se han propuesto y desarrollado diversas aplicaciones RV enfocadas a la estimulación auditiva y táctil de personas ciegas y débiles visuales. Evett et al. (2009) desarrollaron una interfaz para permitir la exploración de los entornos virtuales a través de retroalimentación háptica y auditiva, utilizando un sistema de bajo costo, tal como el control remoto de Nintendo Wii. Por otro lado, Gómez et al. (2012) crearon una interfaz para la mejora de la percepción espacial y la inteligibilidad para usuarios ciegos a través de señales de audio y de tacto. La parte medular de esta interfaz fue la codificación del color y profundidad en sonidos de instrumentos musicales, lo cual proporciona una imagen espacial del entorno, los límites y obstáculos.

Esto permitió a las personas ciegas explorar selectivamente ambientes, descubrir lugares de interés, y desarrollar estrategias de navegación personalizadas.

En el caso de entornos reales, Loomis et al. (2001) realizaron una recopilación completa de los sistemas de navegación basados en GPS para personas con discapacidad visual, haciendo hincapié en el valor de este tipo de sistemas para su navegación en ambientes reales al aire libre. En cuanto a los espacios interiores, Loomis et al. (2005) señalaron que el GPS no funciona plenamente en estos contextos, por lo que deben considerarse otros métodos. Por ejemplo, Gill (1996) desarrolló una solución basada en tecnología de infrarrojos y sensores para determinar la ubicación interior de una persona. En una perspectiva similar, Ran et al. (2004) diseñaron un sistema que combina el GPS, para la navegación en exteriores, y sensores ultrasónicos, para la navegación en interiores.

Numerosos estudios han atestiguado la capacidad de las personas ciegas para navegar en entornos complejos, sin depender de insumos visuales (Byrne and Salter, 1983; Loomis et al., 1993; Millar, 1994; Tinti et al., 2006; Afonso, 2006). En ausencia de la vista, la experiencia kinestésica es una fuente alternativa de información válida para la construcción de representaciones mentales de un entorno.

Descripción del sistema

Arquitectura de sistema

El sistema de enseñanza-aprendizaje Braille (SEAB) propuesto, ha sido desarrollado usando técnicas de realidad virtual y sistemas hápticos. La Figura 3 muestra la arquitectura general del sistema propuesto, el cual consta de tres módulos principales:

1. Módulo gráfico: encargado del renderizado gráfico de los objetos virtuales y el ambiente virtual, en este caso los textos Braille.
2. Módulo háptico: encargado del renderizado háptico que provee el sentido del tacto y la retroalimentación de fuerza para que el usuario pueda tocar y palpar los objetos virtuales.
3. Módulo Braille: encargado de la generación de los objetos virtuales correspondientes a los textos 3D en Braille, así como de la conversión de textos en español a textos 3D en Braille. Cuenta además con un catálogo que contiene una gran variedad de textos 3D predefinidos para que el usuario los pueda seleccionar y mostrar en pantalla durante el proceso enseñanza-aprendizaje.

La integración de estos tres módulos permite al sistema SEAB llevar a cabo tareas de enseñanza-aprendizaje Braille de una manera interactiva, en donde el usuario (persona ciega) puede tocar y sentir los textos en Braille mediante un dispositivo háptico.

Implementación

El sistema SEAB ha sido implementado y desarrollado en la plataforma MFC (Microsoft Foundation Classes) de Visual Studio 2010. Para el renderizado gráfico se utilizaron las librerías OpenGL, mientras que para el renderizado háptico se utilizaron las librerías OpenHaptics y un dispositivo Phantom Omni de Sensable®. Los objetos virtuales correspondientes a los textos braille se representan en formato *.OBJ, el cual es un formato que se utiliza para describir las superficies de objetos 3D, y que puede ser generado en sistemas de modelado geométrico tal como los softwares CAD.

La Figura 4 muestra la interfaz de usuario (GUI) del sistema SEAB, la cual consta de una barra de menú principal y un área del escenario virtual. En la escena virtual se presentan los objetos virtuales (textos en Braille), los cuales pueden ser tocados y palpados por el usuario por medio del dispositivo háptico. El menú principal de la aplicación SEAB está conformado por 9 opciones principales: Archivo, Abecedario, Vocales acentuadas, Números, Signos, Palabras, Oraciones, Ayuda y Háptico. La Tabla 1 muestra el detalle y descripción de los menús y submenús.

Menú	Submenús	Descripción
Archivo	- Abrir - Archivos recientes - Salir - Escribir palabra	Permite abrir un archivo en formato *.obj. Muestra los archivos recientemente visualizados. Cerrar la aplicación. Permite introducir una palabra para su conversión y representación 3D en Braille.
Abecedario	- A-E - F-J - K-N - O-S - T-Z	Muestra las letras de la A a la E. Muestra las letras de la F a la J. Muestra las letras de la K a la N. Muestra las letras de la O a la S. Muestra las letras de la T a la Z.
Vocales acentuadas	- Vocales con acento	Muestra las vocales con acento.
Números	- Números	Muestra los números del 0 al 9.
Signos	- Signos	Muestra diferentes signos: &, ., ¿, ¡, * ()
Palabras	- Cuatro - Cinco - Seis	Muestra palabras de cuatro letras. Muestra palabras de cinco letras. Muestra palabras de seis letras.
Oraciones	- Dos palabras - Tres palabras - Cuatro palabras - Cinco palabras - Seis o más palabras	Muestra oraciones de dos palabras. Muestra oraciones de tres palabras. Muestra oraciones de cuatro palabras. Muestra oraciones de cinco palabras. Muestra oraciones de seis o más palabras.
Ayuda	- Acerca de	Muestra información acerca de la aplicación.
Háptico	- Activar	Permite habilitar o deshabilitar el dispositivo háptico.

Tabla 1 Menús y submenús del sistema SEAB.

Funcionalidad del sistema

Las principales funcionalidades del sistema SEAB desarrollado son:

- Conversión de textos en español a lenguaje Braille 3D.
- Importación de objetos 3D correspondientes a textos en Braille.
- Ambiente de realidad virtual para visualización de textos 3D en Braille.
- Manipulación e interacción háptica (táctil) de textos 3D en Braille.
- Catálogo amplio de textos 3D en Braille con contenido de: abecedario, vocales acentuadas, números, signos, palabras y oraciones.
- Manipulación libre de la cámara correspondiente a la escena virtual.
- Ajuste y escalamiento automático de textos 3D en pantalla.

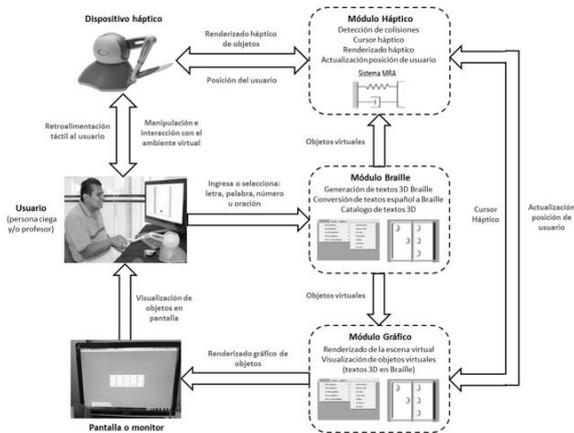


Figura 3 Arquitectura general del sistema de enseñanza-aprendizaje Braille (SEAB).

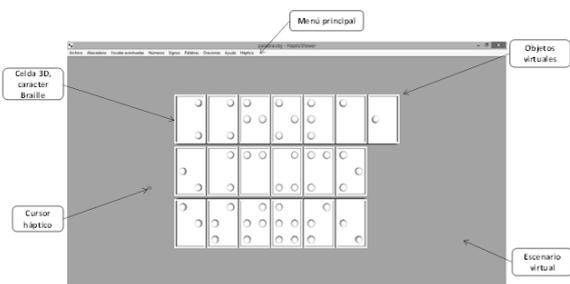


Figura 4 Interfaz gráfica de usuario (GUI) del sistema SEAB.

Operación del sistema con y sin háptico

Una de las características importantes de la aplicación final es que permite el desplazamiento, rotación y escalamiento de los objetos en la pantalla mediante los botones del mouse, permitiendo ajustarlos según las preferencias del usuario para una mayor comodidad.

Cabe hacer mención que aun cuando las personas ciegas no pueden visualizar los objetos en pantalla, el renderizado gráfico de los objetos virtuales es necesario para llevar a cabo los cálculos correspondientes al renderizado háptico. El renderizado gráfico en la pantalla también es vital para que el instructor o maestro pueda estar monitoreando y asistiendo a la persona ciega durante el proceso enseñanza-aprendizaje, así como seleccionar los textos o tareas que realizará el estudiante (persona ciega) durante su sesión de enseñanza-aprendizaje. De esta manera es posible llevar a cabo actividades de enseñanza-aprendizaje del sistema Braille con la participación del estudiante (persona ciega) y/o el instructor o profesor.

Textos 3D Braille

En el caso de los textos 3D en Braille predefinidos en el sistema SEAB (abecedario, vocales acentuadas, números, signos, palabras, y oraciones), éstos fueron diseñados y modeladas en los software Blender y Solidworks. Cada carácter se representa como una celda o placa sólida 3D sobre la cual se incrustan esferas de acuerdo a la letra, número o signo en el sistema Braille, Figura 5a. Adicionalmente cada celda tiene un borde o canto en la parte superior, el cual permite a los usuarios identificar fácilmente el área correspondiente a cada letra. En el caso de las palabras y oraciones, éstas se diseñaron y modelaron como un arreglo de celdas Braille, Figura 5b). Las letras, números, signos, palabras y oraciones fueron exportados del software CAD como archivos en formato *.obj para ser utilizados en el sistema SEAB como parte del catálogo de textos predefinidos.

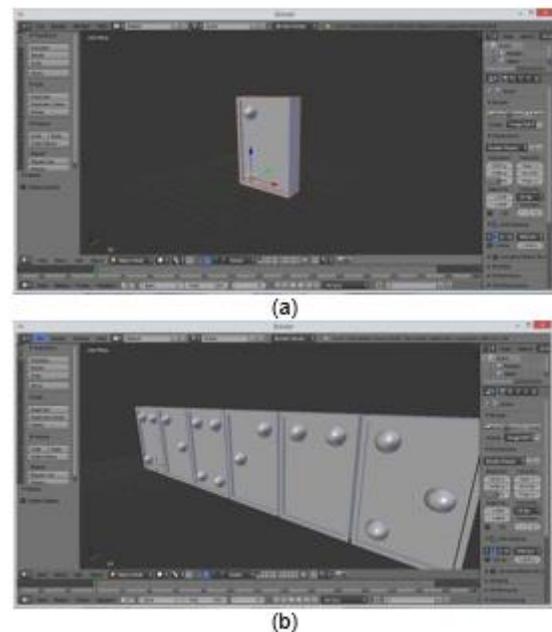


Figura 5 Diseño y modelado de textos en Blender: a) letra “a” en Braille, b) palabra “mexico” en Braille.

En el caso de la conversión de textos en español a textos Braille en el sistema SEAB, se desarrolló una clase en C++ capaz de generar el archivo *.obj correspondiente al texto en español introducido por el usuario. Para ello se trabajó en el análisis, decodificación y edición de archivos en formato *.obj.

Evaluación y resultados

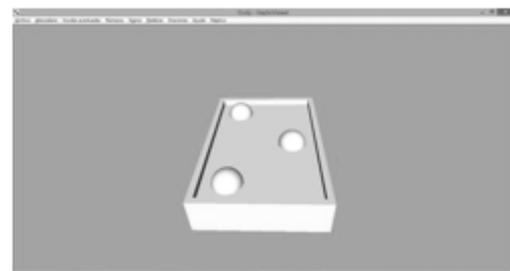
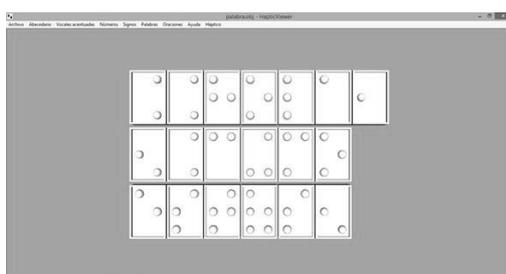
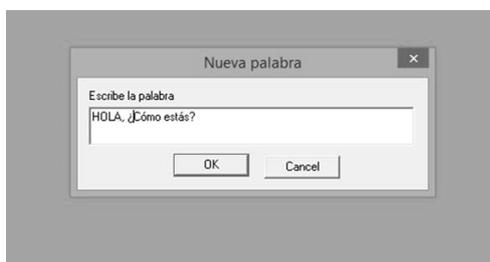
Para evaluar la funcionalidad y desempeño general del sistema SEAB, se realizaron un conjunto de pruebas utilizando las diferentes funciones del sistema. La Figura 6 muestra algunos de los resultados de esta evaluación. La primera evaluación realizada fue el renderizado háptico, para verificar que efectivamente los objetos en pantalla pudieran ser tocados y palpados mediante el dispositivo háptico. Para ello se representó un objeto en pantalla y mediante el dispositivo háptico se procedió a tocarlo y palparlo, Figura 6a. Los resultados demostraron que es posible tocar y palpar los textos 3D Braille en el sistema SEAB. Otra de las funciones evaluadas fue la conversión de texto en español a texto 3D en Braille.

En la Figura 6b se puede apreciar el cuadro de dialogo en donde el usuario puede teclear la palabra u oración deseada, incluyendo mayúsculas, minúsculas, signos, etc. En esta figura se muestra la oración “HOLA. ¿Cómo estás?”, la cual es traducida por el sistema y presentada en pantalla, Figura 6c, para que el usuario la pueda tocar y palpar mediante el dispositivo háptico.

La funcionalidad para rotar y escalar letras y textos también fue evaluada como se muestra en la Figura 6d. Además, también se evaluó la correcta representación de cada uno de los textos predefinidos (abecedario, vocales acentuadas, números, signos, palabras y oraciones), observándose un correcto funcionamiento. La Figura 6e muestra la representación del número 1, mientras que la Figura 6f muestra el renderizado de una oración.



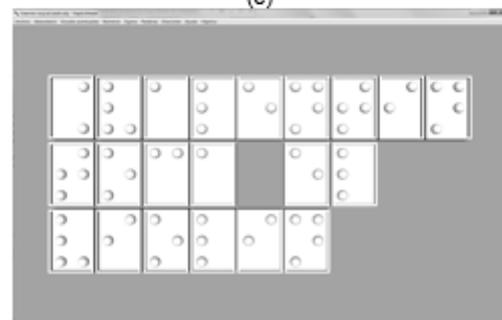
(a)



(d)



(e)



(f)

Figura 6 Evaluación del sistema SEAB: a) sistema final y evaluación háptica, b) introducción de texto en español, c) generación y representación de texto 3D en Braille, d) letra “o” escalada y rotada, e) número 1, f) oración: “Valentín toca el violín”.

Para evaluar la eficacia y usabilidad del sistema, se realizaron un conjunto de pruebas experimentales con una persona ciega con conocimientos del lenguaje Braille. En primer lugar se le dio una explicación a la persona ciega participante acerca del sistema SEAB y su funcionalidad. Posteriormente se le mostraron en pantalla algunas letras, números, palabras y oraciones en Braille, indicándole el texto que se presentaba, y se le pidió leer dicho texto mediante el sistema háptico,

Figura 7a. Finalmente se le mostraron nuevamente en pantalla otras letras, números, signos, palabras y oraciones en Braille, pero esta vez sin decirle el texto que se presentaba, y se le pidió reconocer y leer dicho texto mediante el sistema háptico, Figura 7b. Al concluir las pruebas se le cuestionó al participante acerca de la utilidad y desempeño del sistema, así como sus comentarios y retroalimentación acerca del sistema.

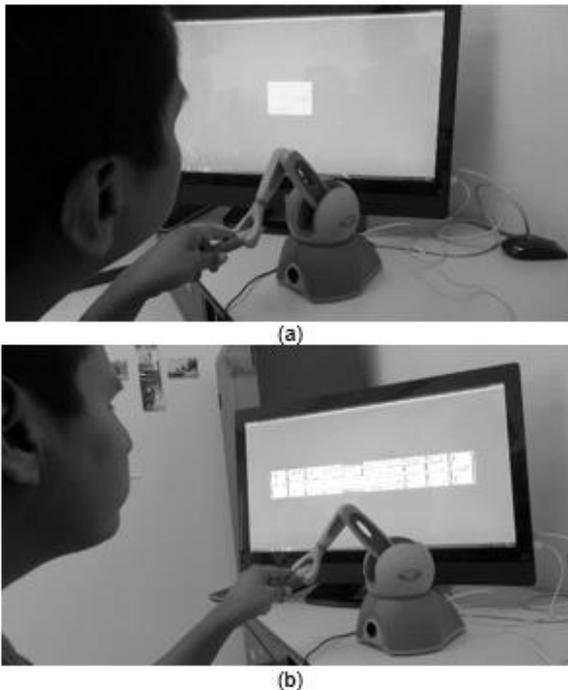


Figura 7 Evaluación con una persona ciega: a) lectura de textos Braille, b) reconocimientos de textos Braille.

Los resultados obtenidos de la evaluación del sistema SEAB con una persona ciega fueron muy satisfactorios, la persona ciega sí fue capaz de sentir y palpar los textos Braille, así como reconocerlos y leerlos. En promedio la persona ciega tardó en reconocer y leer una letra o número 28 segundos; una palabra de 4 letras (AMOR) 2 minutos y 22 segundos; y una oración de 2 palabras (HOLA MUNDO) 12 minutos y 29 segundos.

De las pruebas realizadas y los resultados obtenidos se observó cierta dificultad para leer las letras, lo cual condujo a tiempos largos para reconocer las palabras y oraciones. Este problema se debe a que el sistema háptico solo permite el contacto en un punto, mientras que la lectura de texto Braille en la vida real se realiza con toda la yema del dedo, tocando o sintiendo todos los puntos de una letra al mismo tiempo. Por lo anterior se considera como parte del trabajo futuro utilizar una interface háptica con más puntos de contacto, la cual reproduzca de manera más fehaciente el tacto con los dedos.

También se observó que el usuario tiende a perderse dentro del ambiente virtual al tener todos los grados de libertad disponibles en el espacio (6 grados de libertad). De hecho, el participante ciego dentro de sus comentarios sugirió restringir el movimiento del dispositivo háptico a solo el plano donde se está leyendo el texto; esto con el fin de reducir los tiempos de lectura y reconocimiento del texto Braille.

Los comentarios generales proporcionados por el participante fueron muy positivos. En primer lugar considera que el sistema tiene mucho potencial como herramienta de enseñanza-aprendizaje del lenguaje Braille. En segundo lugar propone su aplicación como una interfaz de uso general para la interacción de personas ciegas con las computadoras.

Finalmente se puede decir que la funcionalidad, usabilidad y eficacia del sistema SEAB ha sido probada y validada. El sistema SEAB es capaz de representar textos 3D Braille en un entorno de realidad virtual para que el usuario ciego o débil visual los toque y palpe mediante el dispositivo háptico. Por lo anterior se puede decir que el sistema SEAB representa una herramienta tecnológica de enseñanza-aprendizaje del lenguaje Braille para personas ciegas o débiles visuales.

Conclusiones

Se ha presentado y desarrollado un nuevo sistema tecnológico para la enseñanza del sistema Braille mediante el uso de los sistemas hápticos y la realidad virtual. La funcionalidad y usabilidad del sistema ha sido probada y validada. Los resultados demuestran que el sistema propuesto representa una herramienta tecnológica para la enseñanza-aprendizaje del lenguaje Braille, lo cual es de gran importancia para este sector de la población a nivel mundial.

Como trabajo futuro se contempla una evaluación más completa del sistema con un grupo de personas invidentes.

Agradecimientos

Al CONACYT, SEP y CONACULTA de México por el apoyo financiero otorgado para la realización del proyecto.

Referencias

Anfoso, A., Blum, A., Katz, B.F.G., Tarroux, P., Borst, G. and Denis, M. (2010). Structural properties of spatial representations in blind people: scanning images constructed from haptic exploration or from locomotion in a 3-D audio virtual environment. *Mem. Cognit.* 38, 591 – 604.

Aras, E., y Yip-Hoi, D. (2007). Geometric modeling of cutter/work piece engagements in 3-axis milling using polyhedral models. *ASME 2007 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (IMECE2007)*, November 11–15, Seattle, Washington, USA. Paper no. IMECE2007-41414, pp. 371-382.

Bell R. Bryan, DDS, MD (2011). Computer Planning and Intraoperative Navigation in Orthognathic Surgery. *J Oral Maxillofac Surgery*, 69, pp. 592-605.

Bravo, G., Cáceres, M. (2006). El proceso de enseñanza-aprendizaje desde una perspectiva comunicativa. *Revista Iberoamericana de Educación*. Vol. 38. No. 7.

Brooks, Frederick P., Ouh-Young, Ming, Batter, James J., Kilpatrick, P. Jerome (1990). Project GROPE Haptic displays for scientific visualization. *CM SIGGRAPH Computer Graphics, Proceedings of the 17th annual conference on Computer graphics and interactive techniques SIGGRAPH '90*, Vol. 24, Issue 4, September. ACM Press.

Brough, J., Schwartz, M., Gupta, S.K., Anand, D. K., Kavetsky, R., y Pettersen, R. (2007). Towards the development of a virtual environment-based training system for mechanical assembly operations. *Virtual Reality*, vol. 11(4), pp. 189-206.

Burdea, G. C. (1996). Force and touch feedback for virtual reality. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.

Byrne, R.W. and Salter, E. (1983). Distances and directions in the cognitive maps of the blind. *Can. J. Psychol.* 70, 293 – 299.

Castañeda Roldán Carolina Yolanda, Espinosa y Victoria José Rafael (2008). “Realidad Virtual, una herramienta computacional para el estudio de Sistemas Orgánicos y los Sentidos del Tacto y Olfato a Nivel Primaria”, en *Revista Impulso*. Agosto.

Castañeda Roldán C. Y., Vázquez García F. E. (2011). Realidad Virtual, un apoyo en la Terapia de Acrofobia, Claustrofobia y Agorafobia. *Memorias del VIII Congreso Internacional sobre Innovación y Desarrollo Tecnológico (CIINDET 2011)*, Noviembre, Cuernavaca Morelos, México.

Ellis, S.R. (1994). What are virtual environments? *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 14(1), pp. 17-22.

- Evet, L., Battersby, S., Ridley, A. and Brown, D. (2009). An interface to virtual environments for people who are blind using Wii technology mental models and navigation. *Assistive Technologies*, Vol. 3 Issue: 2, pp. 26 – 34.
- Fischer, A., Vance, J.M., Vo, D.M. (2009). Haptic feedback to guide interactive product design. *ASME-AFM 2009 World Conference on Innovative Virtual Reality (WINVR2009) February 25–26, 2009*, Chalon-sur-Saône, France.
- Gill, J. (1996). An orientation and navigation system for blind pedestrians. Royal National Institute for the Blind, MoBIC Consortium, London.
- Girod Sabine, Keeve Erwin, Girod Bernd (1995). Advances in interactive craniofacial surgery planning by 3D simulation and visualization. *Int. J. Oral and Maxillofacial Surgery*, 24, pp. 120-125.
- Gomez, J.D., Bologna, G. and Pun, T. (2012). Spatial awareness and intelligibility for the blind: Audio-touch interfaces. *Human factors in computing systems*, pp. 1529 – 1534.
- Gonzalez-Badillo Germanico, Medellin-Castillo Hugo, Lim Theodore, Ritchie James, Garbaya Samir. (2014). The development of a physics and constraint-based haptic virtual assembly system. *Assembly Automation*, 34/1, pp. 41–55.
- Govea-Valladares E.H., Medellin-Castillo H.I., Lim T., Khambay B., Rodriguez-Florido M., Ballesteros J. (2012). Development of a Virtual Simulator for Planning Mandible Osteotomies in Orthognathic Surgeries. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, Vol. 33, No. 2, pp. 147-158.
- Mujber, T.S., Szecsi, T., Hashmi, M.S.J. (2004). Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of materials processing technology*, 155-156, pp. 1834-1838.
- Henderson, M., y Kattethota, G. (1999). Manufacturability evaluation for rapid fabrication: A system form traditional machining and layered manufacturing planning. *CAD Conference*, Neuchatel, Switzerland, Feb. 22-24.
- Holbrook, M. C., & Koenig A. J. (Eds.) (2003). *Foundations of education. Volume II. Instructional Strategies for Teaching Children and Youth with Visual Impairments*. Nueva York: AFB Press.
- Jayaram, S. Connacher, H.I. y Lyons, K.W. (1997). Virtual assembly using virtual reality techniques. *Computer Aided Design*, vol. 29(8), pp. 575-584.
- Lim, T., Medellin, H., Sung R., Ritchie, J.M. y Corney, J. (2009). Virtual bloxing assembly rapid prototyping of near net shapes. *ASME-AFM 2009 World Conference on Innovative Virtual Reality (WINVR2009) February 25–26, 2009*, Chalon-sur-Saône, France.
- Loomis, J.M., Klatzky, R.L., Golledge, R.G., Cicinelli, J.G., Pellegrino, J.M. and Fry, P.A. (1993). Nonvisual navigation by blind and sighted: assessment of path integration ability. *J. Exp. Psychol.: General* 122, 73 – 91.
- Loomis, J.M., Golledge, R.G. and Klatzky, R.L. (2001). GPS-based navigation systems for the visually impaired. In: Barfield, W., Caudell, T. (Eds.), *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers, Mahwah, NJ, US, pp. 426 – 446.
- Loomis, J.M., Marston, J.R., Golledge, R.G. and Klatzky, R.L. (2005). Personal guidance system for people with visual impairment: a comparison of special displays for route guidance. *J. Vis. Impair. Blind.* 99, 219 – 232.
- Millar, S. (1994). *Understanding and representing space: theory and evidence from studies with blind and sighted children*. Clarendon Press, Oxford, UK.

Medellín Castillo Hugo I., Martínez Hernández Claudia A., Espinosa Castañeda Raquel, Castañeda Roldán Yolanda. (2011). Desarrollo de un Sistema de Proyección de Películas Virtuales para Gente Invidente. Revista Impulso, revista de las academias del Instituto Tecnológico de Puebla. Año 4, No. 2, Diciembre.

Pérez Acal A., Sanz Lobera A. (2007). Virtual reality simulation applied to a numerical control milling machine. International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDEM). vol. 1(3), pp. 143-154.

Pohlenz Philipp, Groß Alexander, Petersik Andreas, Von Sternberg Norman, Pflesser Bernhard, Pommert Andreas, Hoffmann Karl-Heinz, Tiede Ulf, Springer Ingo, Heiland Max (2010). Virtual Dental Surgery as a New Educational Tool in Dental School. Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery, 38, pp. 560-564.

Ramesh, Jain (2000). Real Reality. Computer Graphics and Applications, IEEE, Vol. 20, issue 1, Jan/Feb, pp. 40-41.

Ran, L., Helal, S. and Moore, S. (2004). Drishti: an integrated indoor/outdoor blind navigation system and service. In: Proceedings of the Second International Conference on Pervasive Computing and Communications, Orlando, Florida, March 2004, pp. 23 – 30.

Salisbury, K., Conti, F., Barbagli, F. (2004). Haptic rendering: introductory concepts. Computer Graphics and Applications, IEEE, Vol. 24, Issue 2, March-April, pp. 24 – 32.

Saylor, J. G., & Alexander, W. M. (1974). Planning Curriculum for Schools. New York: Holt, Rinehart and Winston.

Second life. Disponible: <http://secondlife.com/> [2014, Abril].

Scharver Chris, Evenhouse Ray, Johnson Andrew, Leigh Jason (2004). “Designing cranial implants in a haptic augmented reality environment”, en Communications of the ACM, Vol. 47, No. 8, August, pp. 33-38.

Stratton, J. (1990). The principle of test restrictive materials. Journal of Visual Impairment & Blindness, 84, 3-5.

Sutherland I.E. (1965). The ultimate display. Proceedings of IFIPS Congress, vol. 2, New York, NY, pp. 506–508.

Tinti, C., Adenzato, M., Tamietto, M. and Cornoldi, C. (2006). Visual experience is not necessary for efficient survey spatial cognition: evidence from blindness. Q. J. Exp. Psychol. 59, 1306 – 1328.