

# SISTEMA OPTO-ELECTRÓNICO DE COMUNICACIÓN INTERACTIVA PARA DISCAPACITADOS

MINOR, A.  
ALMAZAN, S.  
GONZÁLEZ, A.  
LEIJA, L.  
SUASTE, E.

Sección de Bioelectrónica,  
Departamento de Ingeniería Eléctrica  
CINVESTAV-IPN

## RESUMEN:

La pérdida de capacidad de movimiento debido a problemas neuromotores y otras causas, presenta la necesidad de crear interfaces interactivas, utilizando los movimientos voluntarios aún residentes en el discapacitado, con el propósito de darle una mejor calidad de vida. Actualmente en México existen más de 309 000 personas con problemas neuromotores que podrían ser integrados a una vida dinámica con una de estas interfaces interactivas, ayudándoles a obtener una mayor autoestima y una menor dependencia. El Sistema Interactivo para Discapacitados que se presenta, es una herramienta que está dirigida a personas que sólo tienen como recurso de comunicación los movimientos de la cabeza y de los ojos. La idea de este Sistema Interactivo para Discapacitados es la de substituir a un ratón convencional para computadora por un ratón adecuado a las limitaciones del discapacitado con las mismas posibilidades que el sistema original. El sistema completo consiste de un par de anteojos convencionales, en los que se ha hecho el montaje de dos diodos emisores uno para activar los desplazamientos(x-y), el otro en conjunción con un fotodetector infrarrojo para activar lo que en el ratón convencional es el botón de acceso, así como un panel con cuatro fotodetectores de registro montados sobre el monitor de una computadora personal (movimientos x-y). Este Sistema Interactivo para Discapacitados ha sido probado por personas sanas, quienes han mantenido el control sobre la pantalla para dirigir el desplazamiento del cursor con los movimientos de la cabeza y activando el acceso del botón izquierdo con parpadeos voluntarios. Las pruebas realizadas han sido satisfactorias e indican que este Sistema es capaz de hacer la comunicación hombre-máquina más eficiente, tanto con programas comerciales como de uso específico. Las pruebas de funcionamiento fueron hechas bajo ambiente MS-DOS y WINDOWS.

## PALABRAS CLAVE:

Emulador de ratón optoelectrónico, Ayuda optoelectrónica para discapacitados, Interfase optoelectrónica, Cuadrupléjicos, Interacción Hombre-Máquina, Discapacitado.

## INTRODUCCIÓN

Basta una pequeña reflexión, sobre las enormes posibilidades que actualmente se tienen para las personas normales tanto en la comunicación, como la información, trabajo y entretenimiento, al tener acce-

## ABSTRACT:

The loss in ability of movement due to neuro-motor problems and other causes, have created the necessity of special interactive interfaces. Such interfaces, using the remaining mobility of the disabled, can give them an improved quality of life. Today, in Mexico, there are more 309,000 persons with neuro-motor problems that could be integrated to a dynamic life with one of these interactive interfaces, helping them obtain increased self-reliance and independence. An optoelectronic interactive system for the disabled is presented. This Interactive System for the Disabled is a tool for disabled individuals that retain the ability of voluntary movement of head and eyes. The System replaces a conventional computer mouse. The whole system consists of a pair of conventional eyeglasses, in which we arranged two LED's, one infra-red photodetector and one panel with four photodetectors over a PC's monitor. The System allows movement across the screen through head movements (x-y movements) and activation through voluntary blinking (left button control). Healthy individuals successfully tested the System, performing various mouse operations on a PC. The results of the trials demonstrated this System provides efficient man-machine communication, using commercial or specific software. Performance trials were made under MS-DOS and WINDOWS.

## KEYWORDS:

Optoelectronic mouse emulator, Optoelectronic aid for the disabled, Optoelectronic interface, Quadriplegic, Man-Machine interaction, Disabled.

so a una herramienta tan cotidiana como es una computadora personal, y que estas mismas posibilidades puedan ser utilizadas por una persona discapacitada es abrir una frontera con grandes recursos para el discapacitado, tan grande que incluso muchas personas normales no conocen todos esos recursos. Por esta razón se estableció esta investigación, partiendo de los diferentes modos de acceso que actualmente se tienen para la computadora personal. La conclusión es este artículo, en donde se plasma lo que nosotros consideramos una de las maneras más efi-

Recepción del artículo en su primera versión: julio /97

Aprobación del artículo en su versión final: febrero /98

Responsable:

Arturo Minor

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Departamento de Ing.

Eléctrica, Sección de Bioelectrónica, Apdo. Postal 14-740 México 07000 D.F.

Fax 7477080, E-mail: aminor@mvax1.reed.cinvestav.mx

cientes para abrir ésa frontera a las personas discapacitadas.

Es conocido que un ratón de computadora es un dispositivo optoelectromecánico que responde a los desplazamientos que se realicen con él, con una de las manos del usuario. Esta característica le permite a un usuario normal navegar y poder manejar con mayor eficiencia algunos paquetes de programación, pero no presenta ninguna ventaja para usuarios discapacitados con problemas de parálisis de miembros superiores, que tampoco pueden tener acceso vía teclado normal. Por otro lado la imposibilidad de poder conseguir una rehabilitación total en personas con ciertas clases de discapacidades, ha hecho evidente la necesidad de desarrollar sistemas que permitan un mayor nivel de rehabilitación ó integración, enmarcados en las limitaciones que sufren este tipo de personas. La idea de diseñar una herramienta interactiva de este tipo, no es completamente nueva y se ha venido desarrollando por diferentes grupos de trabajo en el mundo (1,2,3). La aportación original que hace nuestro grupo es la de utilizar naturalmente los recursos propios de una computadora personal (PC) estándar (PROGRAMAS Y PERIFÉRICOS), a través de la herramienta interactiva por excelencia como es el ratón, sin necesidad de utilizar para la emulación sistemas de procesamiento de imágenes (4,5) o de señales (6), ni en el uso de más de una PC (7). Además, como no utiliza sistema de registro invasivo o de superficie puede ser usado por períodos de tiempo prolongados (8), además de tener un costo relativamente bajo respecto de otros sistemas de uso específico (9,10,11,12). Algunos sistemas comerciales han aparecido bajo el auspicio del gobierno de los Estados Unidos (13), su costo va desde los US\$200 hasta más allá de los US\$5500, precios que en nuestro país son prohibitivos.

Algunos de los trabajos similares al que presentamos, y que se pueden consultar en la bibliografía que referenciamos, han atacado el problema desarrollando sistemas interactivos, pero de uso específico, es decir, desarrollan un sistema que es interactivo, pero solo funciona si se carga en memoria residente el programa que ellos desarrollan, o bien, sólo funciona para ciertos paquetes, que ellos comercializan, la conclusión es que sus sistemas están por ellos mismos limitados, por esta razón, se tenían las opciones de desarrollar un sistema de uso dedicado como la que ellos han propuesto y desarrollado, o la de utilizar un sistema ya desarrollado y adecuarlo de la manera más eficiente posible, esta última propuesta, nosotros consideramos que fue la mejor, pero aun así faltaba la estrategia para adecuarla sin limitarla, ni realizar una adecuación costosa.

Después de analizar diferentes propuestas, llegamos a la conclusión que el emular un ratón convencional de computadora permitiría al discapacitado tener acceso ilimitado a todos los programas, que precisamente se han desarrollado para utilizar esta herramienta incluyendo el acceso a la red, y que el trabajar sobre el programa de soporte del ratón



Figura 1. Diagrama temporal de las señales generadas en los codificadores diferenciales de un ratón comercial.

sobre cualquier plataforma solo sería realizar trabajo redundante, por esta razón se trabajó sobre la adecuación del periférico a los movimientos residentes en el discapacitado.

Un ratón convencional de computadora detecta y codifica los desplazamientos hechos con el sobre un solo plano, a través de un par de codificadores incrementales, uno de los cuales se asocia con los movimientos en X, en tanto que el otro se asocia con los movimientos en Y, este grado de libertad lo daría el desplazamiento superior e inferior de la cabeza, algo muy importante es que el grado de libertad es independiente del otro. Cada uno de estos codificadores genera un par de trenes de pulsos cuadrados, cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de desplazamiento, en tanto que el sentido del movimiento esta relacionado con la diferencia de fase entre los dos trenes, tal como se muestra en la figura 1. En cuanto al acceso a los programas, o a las sub-opciones que tienen los programas, estas se realizan oprimiendo el botón de acceso que tiene el ratón, y que incluso puede ser programado, ya sea el derecho o el izquierdo. Para realizar esta activación, sólo es necesario tener una opción de disparo o activación, normalmente la mayoría de las personas discapacitadas tienen control absoluto sobre sus párpados, por lo que decidimos utilizar esta opción para activar y desactivar opciones dentro del programa de aplicación.

#### REQUERIMIENTOS

Para obtener la misma funcionalidad de un ratón convencional con el Sistema Interactivo para Discapacitados (SID), se debe tener una interfase transparente e igual de funcional que el sistema original, para lograr esto el SID debe de contar con un generador de frecuencia autónomo comparable con la velocidad de desplazamiento que se genera en el ratón convencional de manera manual, un sistema sencillo de desplazamiento del cursor sobre el programa interactivo, y un sistema de activación sencillo y seguro. De aquí que el sistema debe de contar con:

Un generador del tren de pulsos con la fase requerida como el de la figura 1, conectado internamente en las terminales de los sistemas de desplazamiento opto-mecánico pues estos se van a substituir.

Un detector de los movimientos de la cabeza del usuario (plano x-y) que se debe sincronizar con el generador del tren de pulsos, para desplazar el cursor del ratón sobre la pantalla de un monitor para tener un desplazamiento suave y continuo.

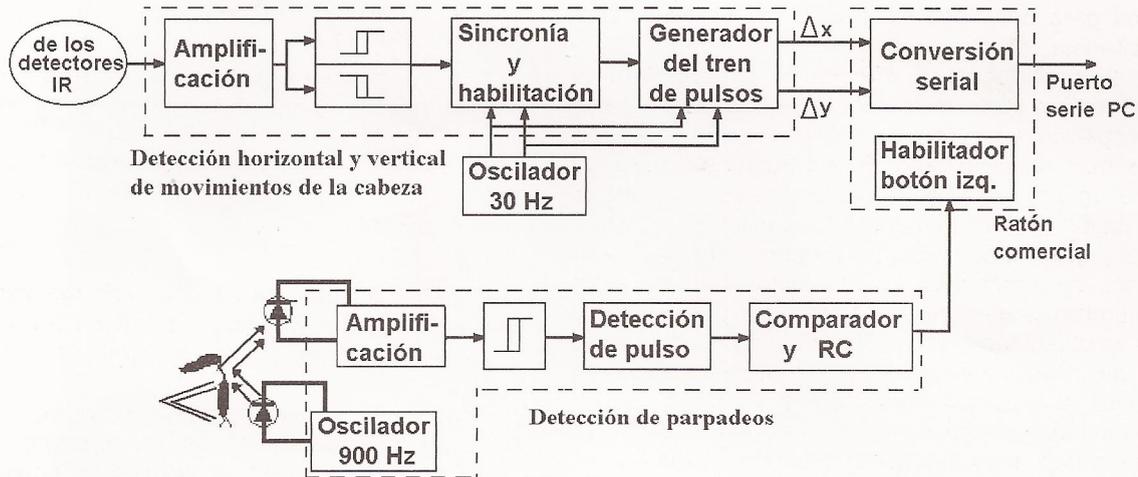


Figura 2. Diagrama a bloques del SID.

Un detector de parpadeos voluntarios del usuario para activar el botón izquierdo del ratón comercial de manera segura.

En la figura 2, se muestra el diagrama a bloques completo del SID que consiste de los puntos mencionados anteriormente.

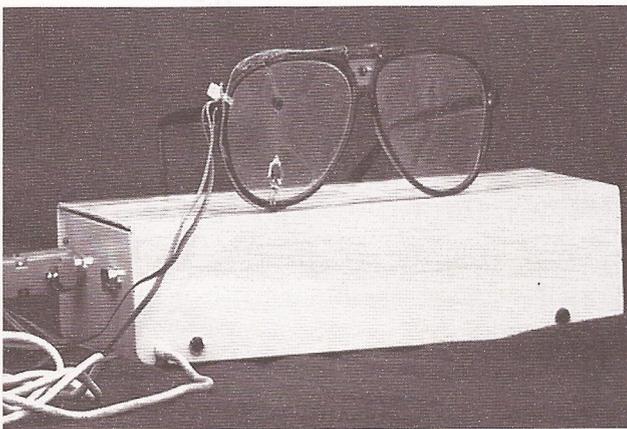
DESCRIPCIÓN

La técnica que se ha empleado para detectar los movimientos de la cabeza y los parpadeos, requiere de la colocación de tres dispositivos optoelectrónicos (dos emisores y un detector) en un armazón de anteojos tradicional (fig. 3a).

Uno de los emisores apunta al frente hacia el monitor de la PC, en donde se encuentra un panel con cuatro fotodetectores de la misma frecuencia, colocados en un soporte polar (Fig. 3b). Cada fotodetector al ser apuntado por el movimiento de la cabeza

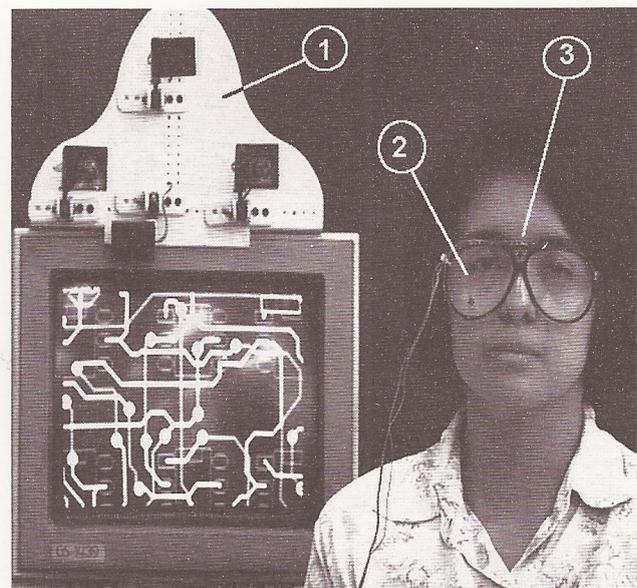
activará sobre la pantalla el desplazamiento del cursor, gracias a la circuitería desarrollada, y que es exactamente igual para cada uno de los cuatro fotodetectores. El soporte mecánico de cada fotodetector permitirá establecer el espacio de trabajo más adecuado para el usuario, de esta manera tendrá una mejor respuesta de su sistema.

Para la activación del botón de acceso del ratón, se utiliza el parpadeo voluntario del usuario, pero una de las limitaciones que debe ser superada, es el utilizar sistemas no invasivos para no restarle campo visual al usuario, y además que sea seguro, para este fin se utilizó un sistema de activación basado en la reflexión de la luz. Para la implementación de este sistema, se colocó un emisor infrarrojo apuntando al ojo del usuario, y un detector a la misma frecuencia de luz apuntando al párpado del usuario, de esta manera le llegará al fotodetector una cantidad



a)

Figura 3. (a) Emisores y detector IR en un armazón de anteojos, (b) Sistema completo para emular el ratón como interfase de usuario. 1: Detectores IR de movimiento x-y, 2: Emisor y detector IR para detectar parpadeos, 3: Emisor IR para el movimiento x-y.



b)

promedio de luz, que sólo será limitada en cortos períodos de tiempo en parpadeos involuntarios, pero nosotros establecimos con un filtro RC el tiempo para determinar como válida la señal de activación si ésta es voluntaria, de esta manera la activación no representa al usuario pérdida de su espacio visual, y es una manera segura de activación.

MATERIAL

Básicamente el sistema tiene dos módulos, el primero de ellos corresponde a la circuitería para desplazar el cursor sobre la pantalla, y el otro módulo corresponde a la circuiteria de detección y activación del botón de acceso. Estos dos módulos están representados a bloques en la figura 2.

DESCRIPCIÓN

El primer módulo es exactamente igual para cada uno de los cuatro fotodetectores, y su primera etapa consiste en la amplificación de la señal. Un punto importante para nosotros, y que es conveniente señalar es que se determinó modular la luz de los emisores con otra señal de una frecuencia de 900 Hz, la razón principal es que el sistema debe ser inmune a ruidos ambientales como algunos componentes de la luz provenientes de lámparas, o reflejos de la luz natural que si no son tomados en cuenta producen activaciones y desplazamientos no deseados.

Después de la detección de la señal en los fotodetectores, ésta es amplificada y cuadrada. Posteriormente se requiere que a partir de esta señal se generen trenes de pulsos desfasados, similares a los que se generan en la etapa optomecánica del ratón de manera manual. Para realizar esto se utilizó el siguiente módulo electrónico (fig. 4); este módulo a partir de las señales de entrada A (si el fotodetector activado es el izquierdo y el desplazamiento es a la izquierda) y B (si el fotodetector activado es el de la derecha y el desplazamiento es a la derecha) generan a la salida una señal con la fase apropiada que corresponde a la dirección de desplazamiento del cur-

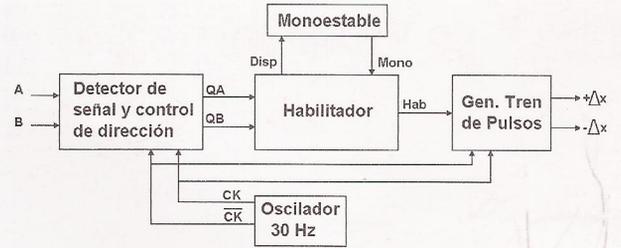


Figura 4. Diagrama a bloques del generador de trenes de pulsos.

sor, el diagrama de tiempos se muestra en la figura 5. De ésta manera cada módulo tiene a su salida una señal que corresponde a la dirección que el usuario desea se mueva el cursor, la velocidad de movimiento del cursor se puede aumentar modificando el reloj que tiene el generador, o bien por programa. Cada una de las salidas de estos módulos van a las entradas de los optoacopladores que tiene cualquier ratón comercial.

Para la señal de activación del botón de acceso, se utilizó como se mencionó en la descripción, un par emisor-detector de luz infrarroja (nm) también modulada, la señal del fotodetector, que es la que nos interesa, se amplifica y se compara contra un nivel establecido de voltaje, pero la señal amplificada debe pasar por un filtro RC que permite sólo establecer dicha comparación si la señal permanece ese tiempo, esto permite discriminar parpadeos voluntarios de los que no lo son, nosotros experimentamos con diferentes tiempos para no activar con tiempos muy largos de parpadeo, ni tiempos muy cortos que pudieran provocar activaciones en falso, el tiempo de la red RC es de 300ms, pero evidentemente puede ser optimizado para cada usuario.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Longitud de onda de los dispositivos optoelectrónicos: 820 nm (infrarrojo cercano)

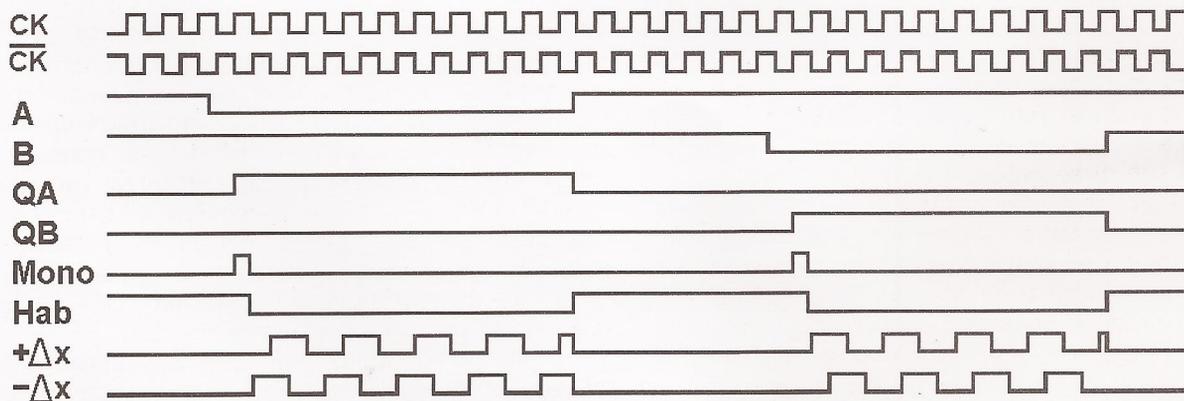
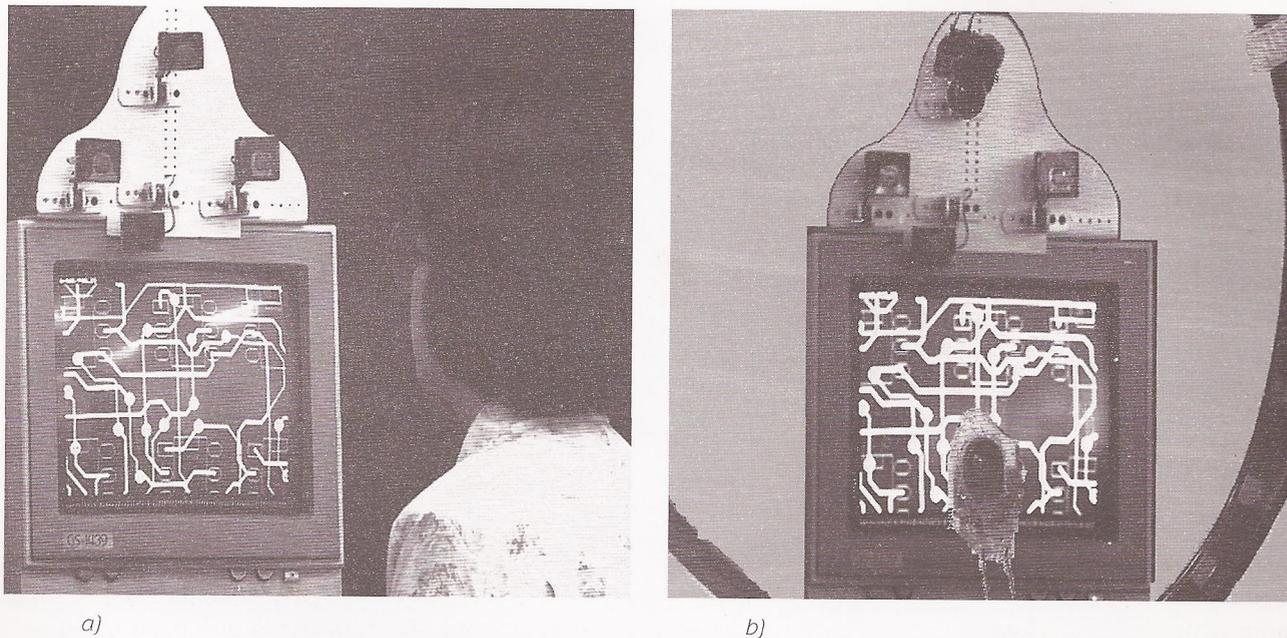


Figura 5. Formas de onda del generador de trenes de pulsos y relación de fase.



a)

b)

Figura 6. a) Usuario usando el SID en una sesión de trabajo con la PC. b) Visión del usuario usando el SID.

Frecuencia de emisión: 900 Hz

Tiempo de parpadeo (para activación del botón izquierdo del ratón): 300 ms (programable)

Frecuencia del reloj interno para la velocidad de desplazamiento: 30 Hz (programable).

Programas de aplicación: Todo el que se pueda ejecutar con cualquier ratón comercial no importando la plataforma.

Tensiones internas de alimentación (CD): +12V, -12V.

Conexión a la computadora: Vía puerto serie usando un ratón comercial.

Implementación (sobre el usuario): en anteojos convencionales

Distancia de trabajo: De uso normal con la PC.  
Programa de activación: no requerido

#### AJUSTE Y PRUEBAS

Para las pruebas del sistema completo se ajustaron los sistemas de detección de movimiento y el detector de parpadeos, esto se realizó en conjunto con el programa interactivo de prueba que trae el ratón, también con él se probó la activación del botón de acceso. Una vez ajustado todo el sistema, se le pidió al usuario navegar por el ambiente operativo Windows para activar íconos. Como prueba final, se realizó un dibujo con el programa AUTOCAD (M.R.), ejercicio realizado por varios usuarios (fig. 6a).

Después del ejercicio de navegación por la pantalla, se realizó una evaluación de desempeño con el usuario para conocer las limitaciones o mejoras que se pudieran obtener con el nuevo sistema.

De las pruebas realizadas se observó la necesidad de un entrenamiento mínimo, además la veloci-

dad de navegación puede ser incrementada de acuerdo a la capacidad del usuario. En cuanto al acceso, éste probó ser eficiente y seguro aunque es necesario un ajuste personalizado para evitar accesos en falso. Una limitación y que evidentemente no depende del SID es la falta interactiva de algunos paquetes computacionales, en el caso del programa con el que se probó, es posible hacer dibujos, pero se deben dar al inicio los parámetros indispensables. La conclusión es que evidentemente para cada paquete su limitación depende del paquete en sí mismo, que en algunos casos, como se da con el uso del WEB (internet) es cada vez más interactivo, por lo que para algunas opciones dicho sistema es suficiente.

#### CONCLUSIONES

Las pruebas realizadas con el SID en personas sanas, han sido satisfactorias e indican que este sistema es capaz de integrar de manera transparente a personas discapacitadas de manera interactiva, utilizando programación comercial o dedicada con aplicación de ratón, tanto en el ambiente del sistema operativo MS-DOS y WINDOWS. El SID presenta ventajas importantes, debido a que no requiere un tiempo de entrenamiento prolongado, además, la personalización de los anteojos se realiza de forma sencilla, y al no utilizar técnicas invasivas de detección no se limita el campo visual del usuario (fig. 6b).

Un punto interesante que es conveniente señalar, es el bajo costo de la implementación, si además se compara con la infraestructura instalada, al no requerir de un desarrollo posterior de programas de aplicación. Es posible desarrollar programación de entrenamiento o rehabilitación, o en su

caso, utilizar programación diseñada para minusválidos del tipo Shareware (de dominio público), que es posible obtener del Web (<ftp.arnes.si/simtel.net/msdos/mouse-pre-bydate.html>) sin perder generalidad de la herramienta interactiva.

Una conclusión importante, es que esta herramienta también puede ser implementada con señales cerebrales, mioeléctricas (de brazo, cuello, dedo, etc.), oculares etc. abriendo la posibilidad de ayudar a una mayor cantidad de personas con diferentes discapacidades. Actualmente, en México existen más de 309 000 personas con problemas neuro-motores (14) que podrían ser integrados con éste desarrollo a una vida dinámica, ayudándoles a obtener una mayor autoestima y una menor dependencia.

#### REFERENCIAS

1. Burger, D. "Improved access to computers for the visually handicapped: New prospects and principles", IEEE Trans. on Rehab. Eng., Vol:2, p. 111-118, Sept. 1994, USA.
2. Sriskanthan N, Subramanian KR, "Braille display terminal for personal computers", IEEE Trans. on Consumer Electronic, Vol: 36, p.121-128, May 1990, USA.
3. Gan W, Sharma S, Kawamura K. "Development of an intelligent robotic aid to the physically handicapped", Conf. : Twenty-Second Southeastern Symposium on System Theory, IEEE Comput. Soc. Press, p. 298-302, 1990, Los Alamitos, CA USA.
4. Amat J, Aranda J, Casals A, "Tracking Capabilities in Computer Vision For Industrial Applications", Optical Engineering 32 (11):pp. 2796-2804, Nov.1993
5. Takami O, Morimoto K, Ochiai T. and Ishimatsu T. "Computer interfase to use head and eyeball movement for handicapped people", IEEE Inter. Conf. on Syst, Man and Cyb. Intelligent Systems for the 21th Century, Vol: 2, p. 1119-1123, 1995 USA.
6. Cilliers PJ, Van der Kouwe, "A VEP-based Computer interface for C2-Quadriplegics", Proc. of the 15th Ann. Int. Conf. of the IEEE EMBS 15 part 3 of 3:pp.1263. Oct.1993.
7. Kalcher, D. Flotzinger, G. Pfurtscheller, "Graz Brain-Computer Interface: an EEG-based Cursor Control System", Proc. of the 15th Ann. Int. Conf. of the IEEE EMBS 15 part 3 of 3:pp.1264. Oct.1993.
8. Bolton, R. Wytch, "Mouse Emulator for tetraplegics" Medical and Biological Engineering and Computing: pp.665-668, Nov.1992.
9. Miyasato T. "VOICE-AID: pushbutton-to-speech system for vocally handicapped people", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol: 9, p. 605-610, May 1991, USA.
10. Shimomachi T, Irie H, Ishimatsu T. and Takami O. "A Robot Control Method by Eyeball Movements", Proc. of A-PVC'93, p. 1038-1041, 1993.
11. Suzuki M. et al., "Development of an Interface for The Elderly People Using Eye-Motion", Proc. of 3rd Bio-Eng. Symposium (in Japanese), p. 12-13, 1994.
12. Minor A, Almazan S. and Suaste E., "Optoelectronic Assistance for the Disabled", Proc. SPIE-The Int. Soc. for Opt. Eng. on Helmet-and Head-Mounted Display and Symbology Design Requirements. Vol: 2218, p. 133-136, April 1994, Orlando, Florida USA.
13. Lazzaro Joseph J, "Computers for the Disabled", Byte:pp.59-64. Jun 1993.
14. Encuesta Nacional de Inválidos SSA 1982. INEGI-CONAPO: Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas; 1980 - 2010, México 1985.

