

Contribución de la electrónica y fotónica a la tecnología de la rehabilitación

BIOINGENIERÍA. Alrededor de un 15% de la población está afectada en cierto grado por una discapacidad. En la sociedad del bienestar y a las puertas de un nuevo milenio, existe una indudable preocupación por proporcionar a estas personas con discapacidad acceso a servicios similares, y a un mismo grado de independencia que sus conciudadanos. En este sentido, la Tecnología de la Rehabilitación será la encargada de ofrecerles soluciones, productos y servicios que les permitan equipararse con el resto de la sociedad y acceder de forma igualitaria a las mismas tareas, actividades y puestos de trabajo. El soporte tecnológico sobre el que se basarán los citados productos o servicios puede ser variado, aunque disciplinas tradicionales como la electrónica y la fotónica seguirán jugando un papel preponderante.

JOSÉ M. S. PENA, CARMEN VÁZQUEZ, ISABEL PÉREZ, ISABEL RODRÍGUEZ, JESÚS F. LÓPEZ, DAVID PLANELL, Y JUAN J. MILLANES

GRUPO DE DISPLAYS ELECTROÓPTICOS, ÁREA DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDAD CARLOS III
E-mail: jmpena@ing.uc3m.es

En los umbrales del siglo XXI, la tecnología forma parte habitual de nuestra vida. Casi todas las actividades que conciernen al ser humano están relacionadas o hacen uso de dispositivos y sistemas tecnológicos. Los desarrollos tecnológicos permiten mejorar las capacidades naturales del hombre y relacionarse de forma más eficaz con su entorno. Sociedad y tecnología avanzan conjuntamente y la evolución de una marca pautas en la otra y viceversa. Los avances tecnológicos generan cambios en los hábitos y, por tanto, en la forma de comportarse la sociedad, mientras que las características específicas de un determinado tipo de sociedad pueden exigir respuestas tecnológicas determinadas que satisfagan sus demandas.

LA TECNOLOGÍA DE LA REHABILITACIÓN

Cuando la tecnología se enfoca hacia el ámbito de mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad y personas mayores se le conoce como Tecnología de la Rehabilitación (TR) o

Tecnología Asistente (TA). En definitiva, la TR se define como cualquier elemento, pieza, dispositivo, sistema o servicio que es utilizado para incrementar, mantener o mejorar las capacidades funcionales de personas con discapacidad [1]. Esta definición es generosa en su lenguaje y no implica que la TR deba incluir computadores, o que deba ser cara o barata, o que sólo la puedan prescribir los profesionales del ámbito de la medicina, etc. Muy al contrario, los únicos límites que se imponen son los de nuestra propia creatividad e imaginación en la solución de problemas que atañen a personas con deficiencias físicas o psíquicas. Dentro del ámbito de la TR o TA se pueden incluir las siguientes categorías [2]:

Tecnología de alto coste/Tecnología de bajo coste

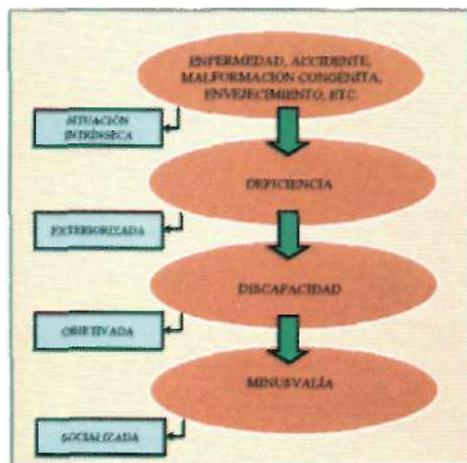
Tecnología de equipos/Tecnología de programas

*Tecnología general/Tecnología específica

Tecnología disponible comercialmente/Tecnología a medida

En cualquier caso, los criterios que se deben seguir en el campo de la TR deben ser fundamentalmente dos [3]: "diseño universal" y

Figura 1 Semántica de la discapacidad: posibles causas y efectos.



REHABILITACIÓN.

"accesibilidad". Dado que no existe un ciudadano estándar (la sociedad está compuestas de personas de edades muy diferentes cada una de ellas con unas necesidades, habilidades y características propias), la tecnología debe dar respuesta al mayor número de situaciones y problemáticas diferentes. Por tanto, el *diseño para todos* debe abarcar la mayor gama posible de potenciales usuarios, en cuyo caso, el producto o servicio ofertado con esta cualidad genera beneficios económicos y sociales y además aporta un valor añadido. Esta idea central implica que los productos, servicios y sistemas a diseñar en el campo de la TR deben cumplir que:

a) Sean flexibles y puedan ser ampliamente utilizados de forma directa (sin modificaciones o adaptaciones posteriores) por el mayor número de personas con habilidades y características diferentes.

b) Sean compatibles con la mayoría de las ayudas técnicas usadas por un gran número de personas.

Antes de proseguir con otros aspectos de la TR, vamos a intentar clarificar diferentes términos o conceptos relacionados con el lenguaje y su aplicación a los usuarios de la TR. La Organización Mundial de la Salud [4] propone la distinción siguiente:

*Una deficiencia es la pérdida o anomalía de una estructura o función anatómica, fisiológica o psicológica ya sea por malformaciones congénitas, accidentes, envejecimiento, etc. La deficiencia representa la exteriorización de un estado patológico.

*Una posible consecuencia de la deficiencia es la discapacidad, que es la restricción o ausencia de la capacidad para realizar una actividad que se considera "normal" para un ser humano. Se trata de una limitación funcional y refleja una alteración a nivel de persona.

*Como consecuencia de lo anterior (una deficiencia o discapacidad) y, no necesariamente, puede producirse una situación desventajosa o minusvalía en un individuo para el desempeño de una determinada actividad que la sociedad entiende como "normal" (en función de su edad, sexo y factores sociales y culturales). Se trata, por tanto, de un concepto asociado a una situación.

La relación existente entre todos estos términos aparece reflejada en la figura 1. A modo de resumen, habría que añadir que tener una deficiencia o discapacidad no genera necesariamente una minusvalía (salvo que sus efectos impidan la realización de actividades que la

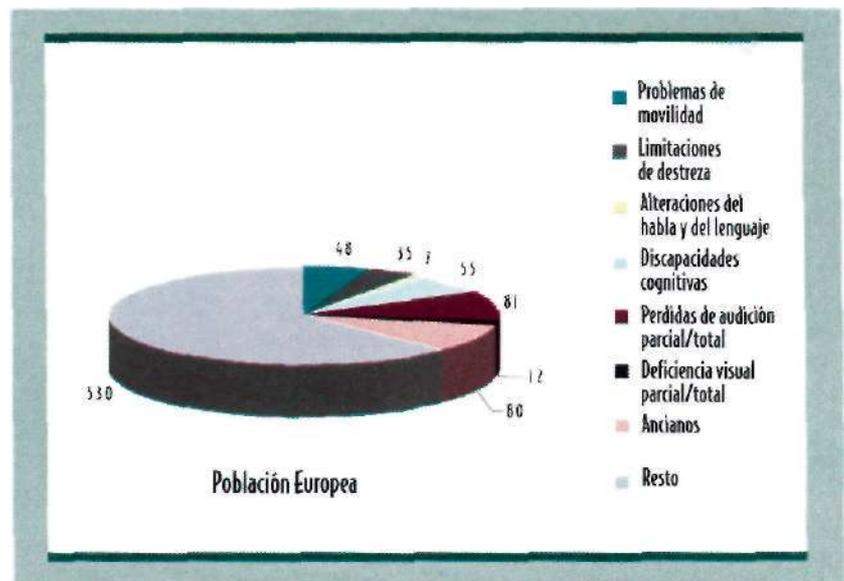


Figura 2. Distribución de la población europea según el tipo de discapacidad.

sociedad considera que dicho individuo sería capaz de llevar a cabo sin dichas limitaciones). Esta distinción, aparentemente sin gran trascendencia, no se limita sólo al ámbito del lenguaje, sino que tiene una gran importancia práctica ya que en muchos casos depende del diseño del entorno del individuo, el cual está basado en criterios ergonómicos [5]. Dicho de otra forma, la configuración ergonómica del puesto de trabajo no va a modificar la discapacidad de una persona, pero sí puede evitar que dicha discapacidad se convierta en minusvalía, o al menos, si ésta se produce, mitigarla.

La tecnología de la rehabilitación en Europa y en España

Antes de realizar un análisis sobre el estado actual y las perspectivas futuras de la TR, tanto a nivel nacional como internacional, conviene reflexionar sobre una serie de datos que nos darán la dimensión de su potencial mercado.

La Comisión Europea a través de numerosos documentos declara que existen entre 60 y 80 millones de discapacitados en el ámbito de la UE. Este número, de por sí elevado, seguirá aumentando con el envejecimiento de la población. Esta variable está íntimamente relacionada con la incidencia de las discapacidades y con el coste asistencial que estas personas reclaman de la sociedad. Con el paso del tiempo, un número decreciente de individuos que trabajan (población activa) tendrá que soportar o hacer frente a las necesidades de un número creciente de población retirada o inactiva. Actualmente la tasa de población "activa/dependiente" es de 2,9 a 1. Sin embargo, en el 2040 se espera que se reduzca alrededor de 1,4 a 1. Se estima que en el año 2020, el 25% de la población rondará los 65 años y que el número de personas sobre los 80 años aumentará aún más. Ante

REHABILITACIÓN.

este escenario, los estados de la UE coinciden en la necesidad de desarrollar políticas encaminadas a mejorar la calidad de vida y a reducir el coste económico que su atención exige. En este sentido, según un informe de la OCDE, el gasto sanitario medio de una persona mayor de 65 años es cuatro veces superior al del resto de la población. Por otra parte, y atendiendo específicamente al área geográfica de la UE, se estima que entre 26 y 30 millones de personas utilizan algún producto o sistema desarrollado a partir de la TR.

Por lo que respecta a España, según datos del INE, en 1986 el 15% de la población presentaba alguna discapacidad y más de la mitad de éstos tenían edad superior a 65 años. Además, atendiendo a la clasificación técnica de la OMS, el 6% de la población española presentaba alguna minusvalía. Actualmente estos datos habrán sufrido

variaciones, pero siguiendo la tendencia ya apuntada en el entorno europeo.

El entorno I+D de la Tecnología de la Rehabilitación

La investigación y desarrollo en Tecnología de la Rehabilitación es imprescindible para atender a las demandas actuales y futuras del número creciente de usuarios que se genera año tras año. La figura 2 representa la distribución de la población en Europa según su tipo de discapacidad [2]. Como se puede apreciar, el potencial mercado de la TR abarca a un porcentaje importante de la población y con perspectivas de fuerte crecimiento en los próximos años.

Ante este horizonte, y conscientes de que la TR no sólo aporta medios para dotar a las personas de una mayor autonomía, sino que también contribuye a reducir los costes asistenciales que la sociedad debe dispensar a personas mayores y con discapacidad, la UE puso en marcha diferentes iniciativas en un intento de fomentar la TR en el ámbito europeo. El programa TIDE (Technology Initiative for Disabled and

Elderly People) promovido por la Dirección General XIII de la Comisión de las Comunidades Europeas supuso el primer intento serio en apoyar financieramente a los diferentes agentes o sectores comprometidos con la TR. Dicho proyecto inicial se consolidó en el TV Programa Marco de Investigación en la UE y aparece

contemplado también en el recientemente publicado V Programa Marco bajo diferentes programas temáticos y horizontales. Por ejemplo, en el programa temático "Quality of Life and Management of Living Resources" aparece una acción clave denominada "The ageing population" dirigida fundamentalmente a prevención y tratamiento de enfermedades relacionadas con las personas mayores; asimismo se incluyen aspectos concernientes a productos y servicios tecnológicos que satisfagan necesidades en discapacidad, vida diaria, servicios de cuidado social, etc. En el programa "User-Friendly Information Society" se

incluye una acción clave denominada "Systems and Services for the Citizen" que está dirigida de forma expresa, entre otros, a individuos con discapacidad y mayores. Existen otras acciones clave incluidas en otros programas que también tienen su foco de atención en este tipo de individuos. Asimismo, la iniciativa HEART (Horizontal European Activities in Rehabilitation Technology) fue un estudio horizontal que trataba de organizar y estructurar la información de los distintos agentes implicados en la TR con el objeto de definir una política de actuación en este campo. Resultados derivados de este estudio demuestran que en el área sur de Europa, la trascendencia del mercado TR era más bien escasa en el sector industrial [6]. Particularmente mala era la situación en España donde el retorno en los diferentes proyectos europeos relacionados con la TR era muy inferior a su aportación a los mismos. El motivo fundamental es la propia configuración del tejido industrial, la cultura empresarial asociada al mismo y el reducido interés despertado en los centros de investigación y de desarrollo tecnológico.

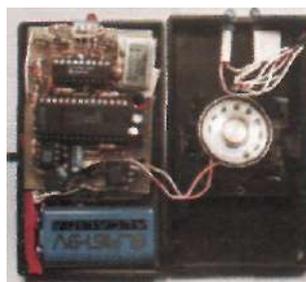
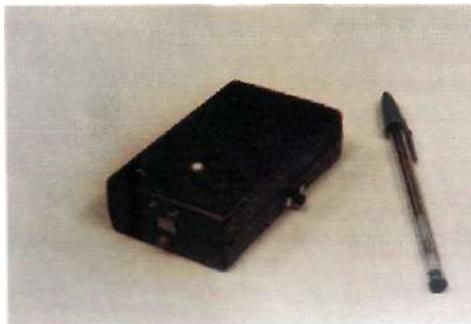


Figura 3. Sensor para reconocimiento de colores con presentación de la información mediante señal sonora.

REHABILITACIÓN.

En lo que concierne a programas de I+D a nivel nacional, se observa un importante esfuerzo de las administraciones públicas en impulsar este campo. El programa PITER (Programa Específico en Tecnología de la Rehabilitación) encuadrado en el III Plan Nacional de I+D está actualmente completando su etapa final y es prematuro hablar acerca de sus resultados. Otras iniciativas como el programa del IMSERSO para el desarrollo de I+D en TR en Universidades se viene desarrollando desde hace unos años con un razonable éxito. A nivel autonómico y local, las administraciones vienen también colaborando en temas como la eliminación de barreras arquitectónicas y la adaptación de vehículos de transporte con el objetivo de mejorar el acceso a determinados medios y servicios por parte de personas con discapacidad.

A título orientativo, el mercado TR mueve en España entre 80.000 y 100.000 millones de pesetas y sus perspectivas de crecimiento son del orden del 7% anual. Aparentemente, representa una cantidad nada desdeñable; sin embargo, en términos relativos, es muy inferior al de países con gran tradición en este campo. Así, Noruega gasta una media de 7.900 pta por habitante y año en productos TR frente a los 2.350 pta de España. Además del déficit descrito, el mercado TR español presenta otras carencias como [6]:

- *Una excesiva dependencia tecnológica exterior que encarece los productos.
- *Descoordinación entre los diferentes agentes (empresas, usuarios, investigadores, etc.)
- *Clara falta de cultura técnica que favorezca la selección y uso de productos.
- *Ausencia de iniciativas innovadoras por parte empresarial y de los organismos responsables de la investigación.

LA ELECTRÓNICA Y FOTÓNICA COMO DISCIPLINAS BÁSICAS DE LA TR

Entre el gran número de disciplinas relacionadas con el ámbito de la TR, no cabe duda que tanto la electrónica como la fotónica desempeñan un papel preponderante. La mayoría de los productos o sistemas tecnológicos basan sus especiales prestaciones en las características que presentan alguno de los dispositivos electrónicos y/o fotónicos que los integran. Las potenciales aplicaciones que la TR puede cubrir, incluyen habitualmente alguna de las siguientes categorías [7]:

a) Adaptación de juguetes. Basada en que la mayoría de los juguetes disponibles comercialmente se alimentan con baterías, lo que permi-

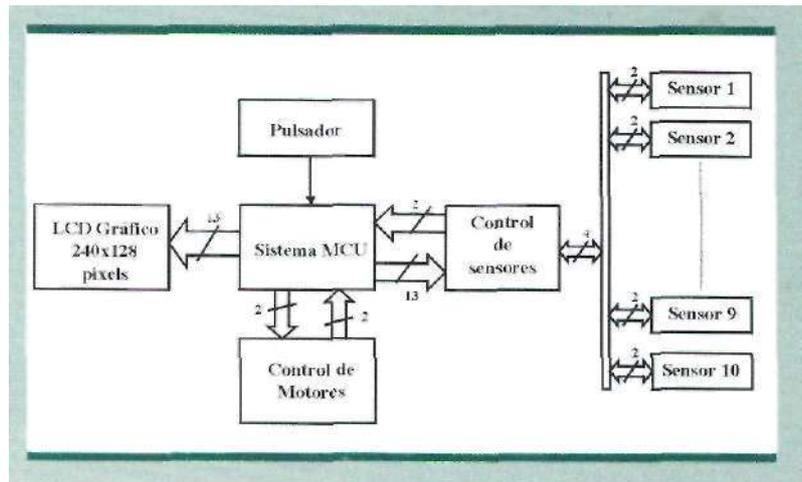


Figura 4. Esquema de bloques del sistema de guiado de una silla de ruedas eléctrica mediante monitorización sobre LCD.

te que sean controlados, mediante adaptaciones específicas, por niños con severas restricciones o limitaciones físicas.

b) Pulsadores. La utilización de uno o varios pulsadores puede permitir a personas con graves discapacidades alcanzar el control sobre diferentes aspectos de su entorno (juegos, comunicación, movilidad, etc.).

c) Control de entorno. Se trata de dispositivos y tecnologías diseñadas para permitir a una persona un mejor control de su entorno, incrementando de esta forma su independencia o autonomía personal y permitiéndole la posibilidad de realizar tareas rutinarias de la vida diaria.

d) Comunicación alternativa y aumentativa. Incluye cualquier aplicación tecnológica que permita la mejora de la comunicación ya sea de forma individual, en grupos e incluso a través del teléfono.

e) Aprendizaje alternativo. Se trata de desarrollar estrategias para individuos con algún déficit de aprendizaje específico. En general son sistemas basados en computador al que se le añade un hardware o software que permita, de alguna forma, superar o mitigar la deficiencia concreta de la persona.

f) Adaptación para el acceso a computadores. Los computadores permiten una gran variedad de métodos de adaptación. Esta flexibilidad da lugar a que el proceso de control pueda ser realizado "a medida" y que se pueda acomodar a las necesidades especiales de la persona con discapacidad.

Parece claro, que en todas ellas puede existir una alta participación de ambas disciplinas (electrónica y fotónica) para generar soluciones y productos eficaces que contribuyan a disminuir las limitaciones físicas o psíquicas de estos usuarios. Se cree que la mayoría de los aparatos de uso cotidiano en el año 2010 están por diseñar [8], y en ellos la presencia de dispositi-

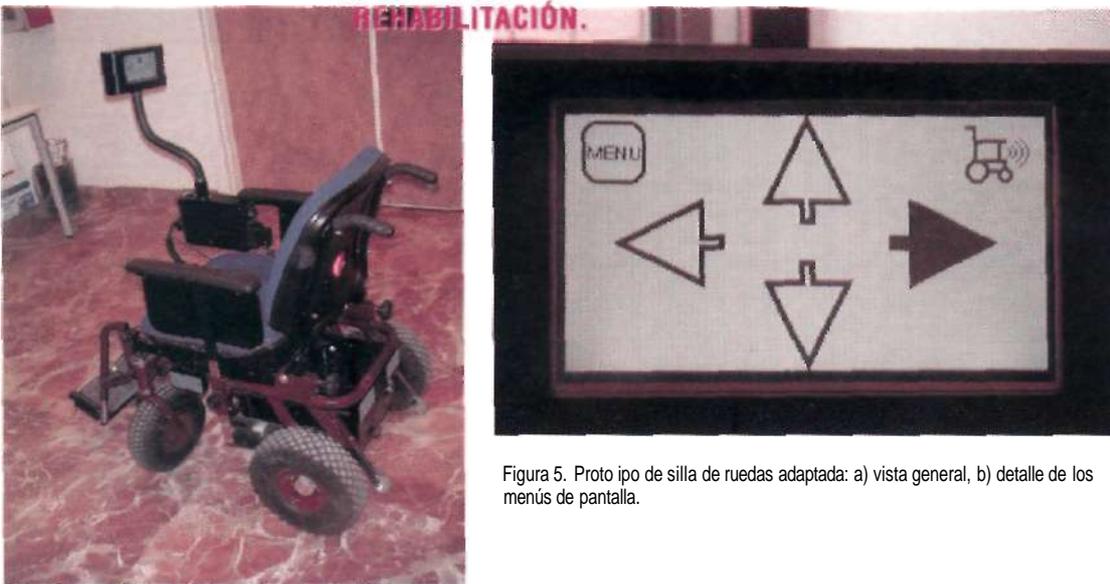


Figura 5. Prototipo de silla de ruedas adaptada: a) vista general, b) detalle de los menús de pantalla.

señal reflejada/dispersada de cada uno de los LED en una señal digital cuya frecuencia es proporcional a la potencia óptica recibida (convertor luz-frecuencia). El procesamiento de dicha señal digital para la obtención de la gama de colores se realiza con un microcontrolador de la familia PIC. Actualmente identifica una gama de 16 colores diferentes, con posibilidad de una mayor discriminación [10].

vos electrónicos, ópticos y optoelectrónicos seguirá siendo imprescindible.

Por lo que concierne a la industria de las citadas disciplinas, el reto actual no es tanto sobre prestaciones sino sobre la facilidad de uso, la accesibilidad, el diseño y demostrar a los usuarios potenciales que estos productos satisfarán alguna de sus necesidades. Obviamente, ello conllevará un determinado gasto, no sólo económico, sino también de aprendizaje, que se deberá compensar con la utilidad encontrada.

A continuación, se ofrecen algunos ejemplos de productos desarrollados con clara orientación TR, que están basados en dispositivos electrónicos y/o fotónicos.

Sistema optoelectrónico autónomo para el reconocimiento de colores

Se trata de un sistema sensor portátil que es capaz de identificar el color del objeto a examen. Este producto, cuyo desarrollo ha sido financiado por la administración pública [9], está claramente dirigido a personas con deficiencias visuales parciales (principalmente daltónicos) o totales y se encuadra dentro de lo que se denomina "producto TR".

El equipo sensor desarrollado está basado en un sistema óptico compuesto por tres diodos emisores de luz (LED) que emiten en el espectro visible tres señales diferentes: roja (R), verde (G) y azul (B). Las tres señales cromáticas inciden sobre el objeto cuyo color se quiere reconocer, y se detectan por un circuito capaz de convertir el nivel óptico de la

El prototipo es completamente autónomo y se alimenta con una batería de 9 V. Para que pueda ser utilizado de forma cómoda por cualquier usuario, se le ha añadido un módulo complementario de grabación/reproducción de voz. El dispositivo, por tanto, "dice" los colores que reconoce. De esta forma cumple los criterios de diseño básicos asociados a este tipo de productos: "accesibilidad" y "diseño para todos". Además, se ha realizado con la restricción de que sea barato y hecho con componentes de fácil adquisición en el mercado electrónico. La figura 3 muestra varios detalles del prototipo desarrollado.

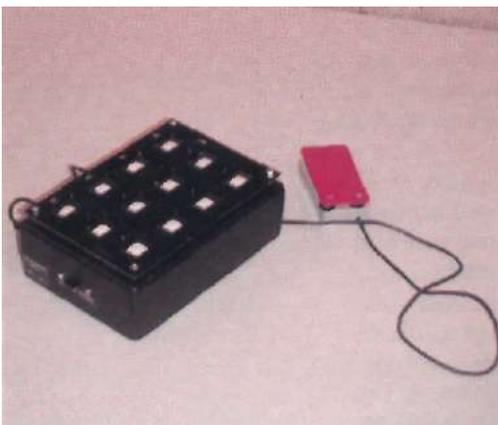
Sistema de guiado de silla de ruedas motorizada mediante barrido secuencial sobre pantalla de cristal líquido (LCD)

Este prototipo fue desarrollado en colaboración con el MTAS/IMSERSO [11] y su objetivo básico es dotar de mayor autonomía de desplazamiento a personas afectadas con graves discapacidades físicas. Su control se realiza a través de un único pulsador que el usuario puede activar (barbilla, soplo, mano, pie, pupila, etc.) en función de su limitación física específica. La figura 4 presenta un esquema de bloques de este sistema. Cada bloque se encarga de realizar una función característica:

Sistema MCU: es el encargado de controlar el funcionamiento global del sistema. Se utiliza un microcontrolador de 16 bits (ST10F167 de ST Microelectronics), que realiza las siguientes funciones: gobierna el control de mensajes por pantalla; decide qué sensor actúa en cada momento; controla el movimiento de ambos motores (rueda derecha e izquierda), en función de la velocidad y dirección seleccionada por el usuario.

Control de motores: es la interfaz entre el sis-

Figura 6. Prototipo de interfaz comunicadora desarrollada que permite la grabación/reproducción de doce mensajes diferentes.



REHABILITACIÓN.

tema microcontrolador y los motores que controlan el movimiento de la silla. Este bloque es el encargado de aplicar la tensión continua necesaria para fijar una determinada velocidad en cada motor, la cual depende de las acciones sobre el pulsador por parte del usuario (dirección y velocidad deseada). La señal de excitación a los motores es del tipo PWM, que varía a través del ciclo de trabajo (con un período constante) la tensión continua aplicada al motor.

Control de sensores: es la interfaz entre el sistema microcontrolador y los sensores. Este bloque excita, con los valores de tensión apropiados, al sensor de ultrasonidos que debe actuar en cada momento. Cada sensor se excita con una señal cuadrada de 40 kHz durante 2,8 ms.

Sensores: se utilizan sensores de ultrasonidos, en los que cada bloque está compuesto por un emisor y un receptor. Midiendo el tiempo de vuelo, esto es, la diferencia entre el inicio de la señal de excitación al emisor y la señal de salida del receptor, se tiene conocimiento de la distancia entre los sensores y el obstáculo. Se ha optado por implementar sensores de ultrasonidos ya que proporcionan un mayor alcance y directividad comparado con sensores del tipo IR de la misma gama [12, 13].

Pulsador: es el dispositivo sobre el que el usuario puede actuar. A través de sus acciones sobre el pulsador, puede modificar tanto la dirección de movimiento (información que recibe el usuario a través del LCD), como la velocidad y aceleración inicial de la silla (mediante parámetros configurables del sistema). Asimismo, permite acceder vía el LCD al submenú que activa/desactiva los sensores.

La figura 5 muestra el prototipo de silla adaptada y diferentes opciones que se presentan en pantalla para que el usuario decida la opción deseada.

Interfaz comunicadora para la grabación/reproducción de mensajes

Se trata de un producto TR [11] que se encuadra en el apartado de "Comunicación Alternativa y Aumentativa", dentro de la clasificación previamente establecida. Está basado en un sistema microcontrolador y en un circuito integrado especializado para la grabación/reproducción de mensajes (figura 6). El microcontrolador controla todas las funciones básicas del sistema, el cual presenta las siguientes características técnicas:

* Posibilidad de grabación/reproducción de hasta 12 mensajes diferentes de duración inferior a 6 s cada uno de ellos.

*Se puede acceder a los mensajes actuando directamente sobre el pulsador correspondien-

te, o mediante un sistema de barrido secuencial con LED y la utilización de un pulsador externo. Esta última opción está pensada para personas con graves discapacidades físicas.

*Es portátil y de peso reducido, lo que facilita su manejo incluso sobre sillas de ruedas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado, en parte, gracias a la financiación recibida de la Consejería de Educación y Cultura de la Comunidad Autónoma de Madrid (Proyecto 07T/0004/1998) y al Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales-IMSERSO (Convenio de Colaboración/1998).

REFERENCIAS

- [1] Definición según "The Technology-Related Assistance for Persons with Disabilities Act", EE.UU., 1988
- [2] C. Rodríguez-Porrero Miret, "Actividades del CEAPAT en Tecnología de la Rehabilitación", Jornadas sobre Tecnología de la Rehabilitación, Valencia, 15-16 octubre 1998.
- [3] O. Lorentzen et al., "Assistive Technology: A powerful Tool for Self-management and Social Integration, Four Area Action Plan", DG XIII, EU-TIDE office, abril-1995.
- [4] WHO, "International Classification of Impairments, Disabilities and Handicaps", World Health Organization, Geneva, 1980.
- [5] A. Page, "Ergonomía y Discapacidad", Jornadas sobre Tecnología de la Rehabilitación, Valencia, 15-16 octubre 1998.
- [6] Pedro Vera. "Actividades del IBV en Tecnología de la Rehabilitación", Jornadas sobre Tecnología de la Rehabilitación, Valencia, 15-16 octubre 1998.
- [7] B. Rizer, J. Cirlot-New, J. Ethridge, "Overview of Assistive Technology", Proceedings CSUN Conference on Technology and Disability, Los Angeles (USA), marzo 1999.
- [8] P. Concejero, Editorial en "Boletín Digital FH", Nº 19, Madrid, 1999.
- [9] Proyecto financiado por la Consejería de Educación y Cultura de la CAM, "Sistema Optoelectrónico Autónomo de Identificación de Color basado en Microcontrolador para Personas con Deficiencias Visuales" (Ref. 07T/0004/1998).
- [10] R. Dandliker, E. Wagner, K. Spenner Ed., "Optical Sensors", Vol. 6 de la serie Sensors, VCH, Weinheim, 1992.
- [11] Convenio de Colaboración entre la Universidad Carlos III de Madrid y el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales-IMSERSO, "Desarrollo de Sistemas de Ayuda a la Movilidad y Comunicación de Personas con discapacidades Físicas y/o Mentales Graves" (1998).
- [12] P. Elgar, "Sensors for Measurement and Control", Tec. Equipment Limited, 1998.
- [13] Ultrasonic Sensors Databook. Murata, 1997. ME