

SENSOR PARA DETECTAR EL CALOR Y LA POSICIÓN DE OBJETOS MEDIANTE ESTIMULACIÓN TÁCTIL EN PERSONAS INVIDENTES

A SENSOR FOR COLOR AND OBJECT POSITION DETECTION, BASED ON TACTILES STIMULATION IN BLIND PEOPLE

Luis Carlos Sarmiento V. MSc.*

lcsv100@hotmail.com

Luis Facundo Maldonado G. PhD.*

luchoupn@hotmail.com

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de un proyecto de investigación desarrollado para alcanzar dos objetivos principales: en primera instancia, probar un dispositivo diseñado para que las personas invidentes localicen objetos e identifiquen sus colores y, en segunda instancia, para caracterizar las estrategias de orientación activadas por los usuarios cuando utilizan este dispositivo en contraposición a cuando usan un bastón como herramienta principal de orientación.

Un grupo de discapacitados visuales utiliza como medio de orientación el bastón, los brazos y las manos; el otro utiliza el dispositivo tecnológico diseñado especialmente para esta investigación (Dispositivo Mecatrónico para la Representación Espacial, DMRE).

Los datos del trabajo experimental son procesados mediante la metodología de análisis de protocolos verbales. Se estudian los procesos de ubicación espacial de objetos en recintos cerrados y la identificación de algunos colores (amarillo, rojo, verde y azul) hecha por las personas invidentes que participaron. El investigador registra en forma magnética lo que el sujeto expresa en voz alta a medida que resuelve el problema. Se siguió la obra de Ericson y Simon (1993) y la guía metodológica desarrollada por Maldonado L. F. (2001) para el desarrollo de esta etapa de la investigación.

De acuerdo con los resultados, las personas ciegas mientras utilizan el DMRE desarrollan estrategias de orientación eficientes para la localización de objetos distantes e identificación de su respectivo color. Estas estrategias son cualitativamente diferentes de las ejecutadas por los invidentes cuando utilizan el bastón como herramienta de orientación.

Palabras clave: Representación espacial, Ciego, Movilidad, Orientación, Visión artificial, Dispositivo tecnológico, Sensor infrarrojo, Microcontroladores.

* Profesores Investigadores Universidad Pedagógica Nacional.

ABSTRACT

This article summarizes the results of a research project addressed to accomplish two main objectives: in one hand, to test a sensor device designed for blind people to locate objects and identify their colors and, on the other hand, to characterize orientation strategies activated by the users when using this device in contrast with a cane as main orientation tool.

A group of blind people uses, as main orientation tool, a cane, their arms and hands. The other group utilizes the technological device designed especially for this research (Mechatronic Device for the Spatial Representation –DMRE).

The experimental data are processed by the methodology of verbal protocol analysis. We study the processes of space location of objects in closed environments and the identification of their colors (yellow, red, green, and blue) executed by blind people. The researcher tapes what the subject expresses aloud as it solves the problem. The data analysis is based on Ericson and Simon (1993) and the methodological guide developed by Maldonado L.F. (2001).

According to the results, blind people develop effective orientation strategies for locating distant objects and identifying their color with DMRE, which are different from those applied when orientation is supported by the cane tool.

Key words: Space representation, blinds, mobility, orientation, artificial vision, technological device, infrared sensors, microcontrollers.

INTRODUCCIÓN

Según el censo de 1995 hecho por INCI (Instituto Nacional para Ciegos), el 0.737% de la población colombiana tiene problemas de ceguera; se cuentan 311.370 personas limitadas visuales, de las cuales el 74% son de baja visión y 80.496 son totalmente ciegos.

Las principales causas que llevan a la ceguera según un estudio realizado por el INCI son cataratas, glaucoma, atrofia óptica, enfermedades de la retina, enfermedades del nervio óptico, uveítis, patologías de córnea, esclerótica y miopía.

En el mundo se realizan investigaciones en esta área para suplir, en alguna forma, el sentido de la visión en personas invidentes. Ésta es la justificación del presente trabajo.

La cantidad de personas que tienen limitaciones visuales motivó nuestro esfuerzo por estudiar formas alternativas de estimulación orientadas a lograr que estas personas alcancen idealmente la autonomía que les daría la visión.

Este artículo sintetiza los resultados de la investigación titulada "Ayudas aumentativas en discapacitados visuales para la representación espacial utilizando las tecnologías de la información y las comunicaciones" (2003), tesis laureada en la Maestría en Tecnologías de la Información aplicadas a la educación de la Universidad Pedagógica Nacional.

El objetivo primordial fue responder a la siguiente pregunta: ¿Existen diferencias en cuanto a la representación espacial de un ambiente artificial entre un grupo de ciegos congénitos que utiliza un transductor que convierte señales de croma e infrarrojas en sensaciones hápticas y otro grupo que utiliza el bastón clásico?

MARCO TEÓRICO

Según Gauvain y Rogoff, el conocimiento espacial hace referencia a una serie de intercambios complejos que implican transacciones de tipo cognitivo y emocional entre el sujeto y el ambiente que lo rodea (Gauvain y Rogoff, 1989).

La cognición espacial para Moore y Golledge (1976) es el conjunto de imágenes, impresiones y creencias que los individuos y grupos tienen de los aspectos elementales, estructurales y simbólicos de los ambientes físicos, reales o imaginarios, sociales, culturales, económicos y políticos.

Existen dos instancias de conocimiento ambiental:

1) *Juicios sobre el espacio*, conformados por las diferentes valoraciones que hacen las personas de los elementos constitutivos del ambiente que los rodea; un ejemplo es la primacía que los ciegos dan a los lugares cerrados en contraposición a los lugares abiertos (Passini, 1986 y 1988).

2) *Representación o mapa cognitivo* que se manifiesta cuando una persona identifica un lugar o información perceptiva y motriz. En el mismo contexto define la *orientación* como un proceso cognitivo que utiliza información sensorial para establecer y mantener la posición en el espacio.

FACTORES PERCEPTIVOS

Cuando una persona se desplaza por un espacio o lugar, utiliza la integración de varias entradas de información sensorial para recordar esa información de una forma viable. A

medida que se va desplazando, crea una intrincada secuencia de operaciones cognitivas que permite al caminante recordar esa vivencia. Cuando deseamos desplazarnos por de-

terminado lugar, es muy importante anticipar la posición siguiente en dirección al lugar al cual deseamos llegar. La *anticipación* como dimensión de la *percepción* tiene como característica primordial la posibilidad de conocer de antemano las propiedades de objetos que se encuentran en la trayectoria antes de hacer contacto físico directo.

La percepción visual, como proceso de anticipación, permite al individuo recoger información de los objetos que se encuentren en su campo visual a una distancia promedio de 76 metros, la cual recorre caminando en un tiempo aproximado de un minuto. El sistema visual utiliza ondas electromagnéticas (velocidad de la luz) en el rango de los 4000 a los 7000 Ångstrom (Å) y permite identificar fácilmente, y a una alta velocidad, las características de los objetos que se encuentren en un espacio determinado.

La percepción espacial por medio de la audición utiliza las ondas acústicas en el rango de los 20Hz a los 20000Hz. La forma de percepción estereofónica permite al individuo saber dónde se encuentra la fuente sonora: existen diferencias signifi-

cativas cuando la fuente de sonido se encuentra enfrente o, en la parte posterior del oyente (Guth, Hill y Rieser, 1989). Este tipo de percepción no es muy dicente para el proceso de representación espacial, ya que solamente informa precariamente al cognoscente la localización del objeto (siempre y cuando no existan otros sonidos que enmascaren el patrón que va a analizar) pero en ningún caso sobre forma, color o tamaño de los objetos.

Los sentidos táctil, propioceptivo y cinestésico son importantísimos para el proceso de representación espacial, ya que permiten detectar forma, tamaño, textura, densidad, peso, posición relativa, movimiento, pero necesitan el contacto físico –proximidad inmediata– para ser usados en la representación espacial, lo cual conlleva una anticipación perceptiva muy precaria.

Para representar de forma eficiente y eficaz espacios o lugares, es esencial poseer un buen nivel de anticipación perceptiva de eventos que permita al individuo decidir sobre desplazamientos que puede ejecutar.

LA MOVILIDAD EN AUSENCIA DE VISIÓN

El proceso de movilidad implica una intrincada red de operaciones cognitivas y sensomotrices. El cognoscente desarrolla sus propias heurísticas. Para ejecutarlas, los estímulos que recibe le informan en cada momento sobre la orientación que lleva, qué elementos están a su alrededor y en qué posición, lo cual

le permite tomar decisiones sobre la meta y el seguimiento de ruta.

Para un ciego, movilizarse implica un esfuerzo cognitivo grande, pues no posee información visual de la forma, el tamaño, el color u otras características de los objetos en su espacio, y tiene que recurrir a los otros sentidos para realizar el pro-

ceso de movilización. La deficiente anticipación perceptiva y la información incompleta generan dificultad para desarrollar esta clase de tareas de manera autónoma.

Según Foulke (1983 y 1984), la selección de datos en memoria está íntimamente relacionada con la *anticipación cognitiva*, es decir, con la posibilidad de adelantarse cognitivamente a la estimulación perceptiva del ambiente, utilizando recuerdos o vivencias de espacios o lugares previamente visitados. Las personas videntes, y las ciegas utilizan la anticipación cognitiva; el éxito de un desplazamiento radica en la cantidad de percepciones relevantes que se tengan o se hayan tenido del espacio o ambiente.

La movilidad involucra algún nivel de planificación. En efecto, quien se desplaza se ve en la necesidad de seleccionar entre diferentes posibilidades de acción para alcanzar una meta.

Según Rich y Knight (1996), para un proceso de planificación se requieren los siguientes pasos (figura 1):

1. Seleccionar la mejor regla basándose en la información heurística disponible.

2. Utilizar la nueva regla para determinar la siguiente posibilidad en el proceso de movilización.
3. Detectar si con estas condiciones se puede llegar a un resultado exitoso.
4. Detectar informaciones que lleven a callejones sin salida.
5. Tomar decisiones sobre la trayectoria a seguir con base en valoración probabilística.
6. Evaluar el acercamiento a la meta generado por una ejecución para decidir sobre la acción siguiente.

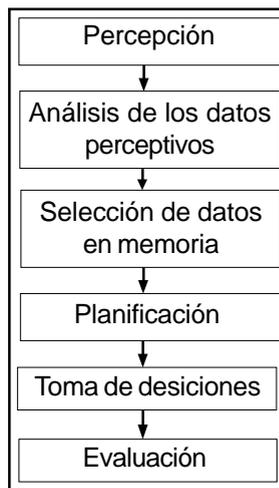


Figura 1. Procesos Cognitivos

LA ORIENTACIÓN ESPACIAL

Según Hill (1986), la orientación espacial posee tres características fundamentales (figura 2):

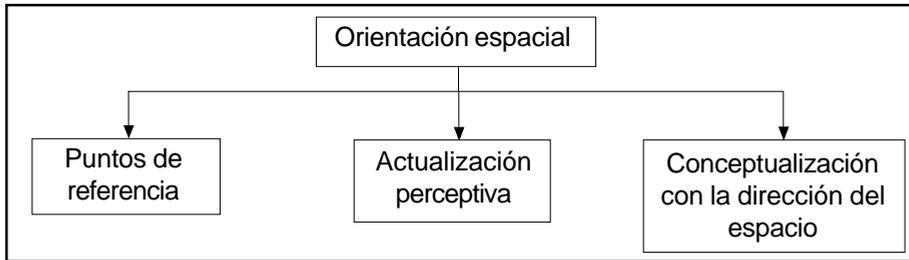


Figura 2. Esquema de orientación espacial

1) Puntos de referencia. Marcas o mojones (señales que sirven de guía en un camino) que permiten a un caminante saber si se encuentra en la ruta correcta. Según Linderberg y Garling (1981), la precisión en la orientación está directamente relacionada con el número de cambios de dirección que existen en una ruta y, según Thomson (1963), con la longitud del recorrido.

2) Actualización perceptiva. Las personas videntes pueden actualizar con facilidad sus representaciones perceptivas (orientación y posición relativa), discriminando sin mayor dificultad aquellos mojones primordiales para su proceso de representa-

ción espacial. En las investigaciones desarrolladas por Rieser, Guth y Hill (1986) se encontró que los ciegos de nacimiento tenían una gran dificultad en orientarse en el espacio cuando realizaban algunos desplazamientos. Esto se atribuye a que deben generar modelos mentales, y no las simples actualizaciones perceptivas, de los videntes.

3) Conceptualización de la dirección en el espacio. Implica que el sujeto utilice uno o varios marcos de referencia para desplazarse y orientarse; a la vez que se forma conceptos espaciales básicos, como izquierda, derecha, adelante, atrás, norte, o sur.

SENSIBILIDAD Y PROCESAMIENTO SENSITIVO

Como los ciegos no pueden ver el medio circundante, tienen una gran dificultad para percibir objetos o el medio que los rodea (Sholl 1986). Por esta razón es imprescindible potenciar o desarrollar nuevas entradas de información que les permitan repre-

sentar el espacio de una forma más completa.

Como la piel es uno de los órganos más extensos, se trata de identificar los sensores más adecuados para aumentar la representación espacial de las personas invidentes.

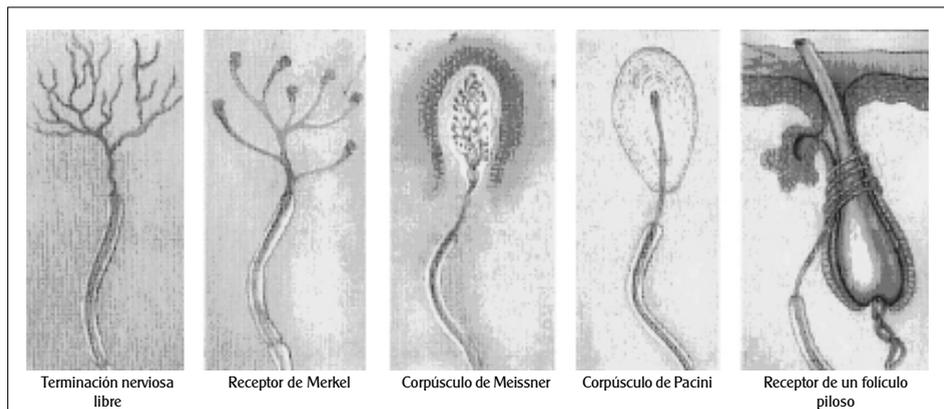


Figura 3. Terminaciones nerviosas sensoriales somáticas especializadas (Purves, 2001).

Según Purves (2001), en la piel se encuentra una gran cantidad de receptores que se agrupan en mecanorreceptores, nociceptores y termorreceptores (figura 3). Es importante destacar la zona más sensible al estímulo escogido. Para lograrlo, Carpenter (1986) relaciona una discriminación mecanosensitiva a través de la superficie corporal. De esta forma podemos determinar qué zona del cuerpo es la más adecuada para capturar información del medio. Variables como la frecuencia de los estímulos y la duración de los mismos permite parametrizar el diseño del dispositivo.

Según Purves (2001), el sistema somatosensitivo tiene dos compo-

nentes principales: un sistema para detectar estímulos mecánicos, como el del tacto leve, la vibración y la presión, y un sistema para detectar los estímulos dolorosos y la temperatura. En conjunto, estos dos sistemas brindan a los animales la capacidad para identificar las formas y la textura de los objetos, controlar las fuerzas externas e internas que actúan sobre el cuerpo en cualquier momento, y detectar situaciones potencialmente nocivas. El procesamiento mecanosensitivo de los estímulos externos es iniciado por la activación de diversos receptores cutáneos o subcutáneos que transmiten información al sistema nervioso central para que los interprete y tome decisiones.

METODOLOGÍA

REGISTRO A TRAVÉS DE PROTOCOLOS VERBALES

La etapa experimental de esta investigación utiliza análisis de protocolos verbales como metodología para estudiar el proceso de ubicación espa-

cial de objetos en recintos cerrados y la identificación de algunos colores (amarillo, rojo, verde y azul). Se siguió la obra de Ericson y Simon

(1993) y la guía metodológica desarrollada por Maldonado (2001). Para registrar la forma como resuelve el problema el sujeto, se utilizan dos videograbadoras, las cuales están funcionando durante toda la experimentación.

El problema consiste en identificar y establecer las diferentes estrategias utilizadas por personas discapacitadas (invidentes) para ubicar objetos en el espacio y sus respectivos colores, utilizando como medios el bastón y el DMRE. Se tuvo en cuenta los estudios de Goel y Pirolli (1993) en cuanto al ambiente de la tarea y el espacio del problema en la solución de problemas débilmente estructurados.

Para el análisis de los protocolos se escogió un conjunto de elementos que permita describir el proceso de búsqueda de las personas invidentes.

Sujetos. Los sujetos fueron seleccionados de una muestra general de invidentes del Centro de Rehabilitación para Adultos Ciegos (CRAC). Este trabajo presenta el análisis de cuatro sujetos (dos que usan bastón y dos que utilizan el DMRE para orientarse).

Procedimiento de recolección de datos. Se dispuso de un salón, dos videograbadoras, un computador, el DMRE, bastón y objetos de diferentes configuraciones geométricas y colores, y una estructura para ubicar los objetos de la experimentación. A los sujetos se les pidió que hablaran en voz alta a medida que iban resolviendo el problema. El experimentador se ubicó cerca al sujeto con fin de estimularlo a verbalizar lo que pen-

saba y hacer aclaraciones sobre procedimientos cuando era necesario.

Trascripción. Tomado el registro de los procesos, se procedió a transcribir el contenido de los mismos en forma textual y de la manera más fiel posible. Como resultado de esta transcripción se tiene un conjunto de expresiones verbales que tienen significado de acuerdo con el proceso que las generó.

Codificación de segmentos. Se dividió la transcripción en sentencias o expresiones consideradas como unidades significativas. Para esta investigación no se consideró el tiempo como una variable relevante.

Se utilizaron para el proceso de codificación, las siguientes expresiones verbales (figura 4):

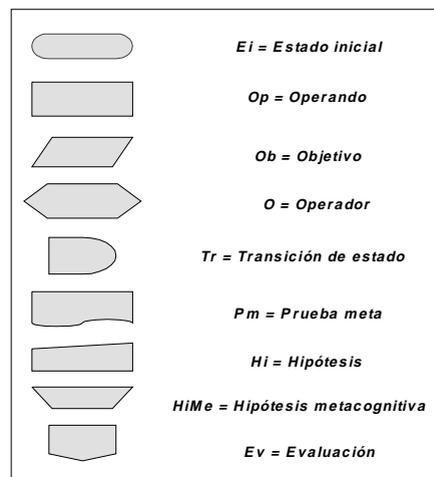


Figura 4. Esquema gráfico de los codificadores.

- Estado inicial: según Russell y Norvig (1996) condiciones iniciales de un problema que un sujeto sabe que debe resolver.
- Operando: elementos del entorno que cambian como resultado

de la aplicación del operador.

- Operador: según Russell y Norvig (1996), conjunto de acciones que un sujeto puede realizar para resolver un problema y pasar de un estado n del operando a un estado $n+1$.
- Prueba de meta: según Russell y Norvig (1996), comparación que un sujeto hace de un estado particular del operando con respecto a su estado esperado.
- Evaluación: valoración de la relación de un operador con respecto al cambio en el operando y la evolución del proceso de búsqueda.
- Objetivo: meta que se desea alcanzar.
- Hipótesis: supuesto inicial que, sin haber sido demostrado aún, se utiliza para explicar hechos observados.
- Hipótesis metacognitiva: proceso de valoración que un sujeto hace de una hipótesis establecida y del conocimiento adquirido por el sujeto.
- Transición de estado: según Russell y Norvig (1996), transiciones de estado son todas las posibles estados del operando, generados por aplicación de los operadores y que se pueden representar en un grafo dirigido o árbol de búsqueda.

En la siguiente fase, se agruparon los problemas presentados a los sujetos en los siguientes subconjuntos de acuerdo con la posición espacial

y características como el color de los objetos:

- Objetos ubicados frente al sujeto.
- Objetos ubicados a la izquierda del sujeto.
- Objetos ubicados a la derecha del sujeto.
- Objetos ubicados en diferente posición angular.
- Localización de objetos de diferente color.
- Ordenamiento espacial de objetos de diferente color.

Esta clasificación se aplicó tanto a los datos del grupo de invidentes que utilizó el bastón como del grupo de invidentes que utilizó el DMRE.

Cada problema se analizó partiendo de la información codificada, la cual se tabuló de manera que se mostraran los elementos relevantes para el proceso de análisis de la búsqueda y se hizo la representación gráfica de la trayectoria seguida por el sujeto para alcanzar el objeto (mapa de orientación). Posteriormente se realizó un diagrama de flujo para caracterizar el procedimiento que siguió el sujeto para resolver el problema. El conjunto de problemas con las mismas características resuelto por cada sujeto es analizado mirando su evolución y el conjunto de codificadores utilizados en los protocolos verbales. Esta información es contrastada con los datos del otro sujeto con las mismas características, es decir, que haya utilizado el bastón o el dispositivo tecnológico.

Diseño del Dispositivo Tecnológico

El diseño y construcción del DMRE permite a las personas invidentes:

- Identificar si existe un objeto al frente y a qué altura está.
- Identificar si existe un objeto a la izquierda y a que altura está.
- Identificar si existe un objeto a la derecha y a qué altura está.

- Identificar si existe un objeto al frente entre la derecha y la izquierda y a qué altura está.
- Identificar el color de un objeto.

ARQUITECTURA DEL DMRE

El DMRE está compuesto por un bloque de croma, un bloque de percepción espacial y una batería (figura 5).

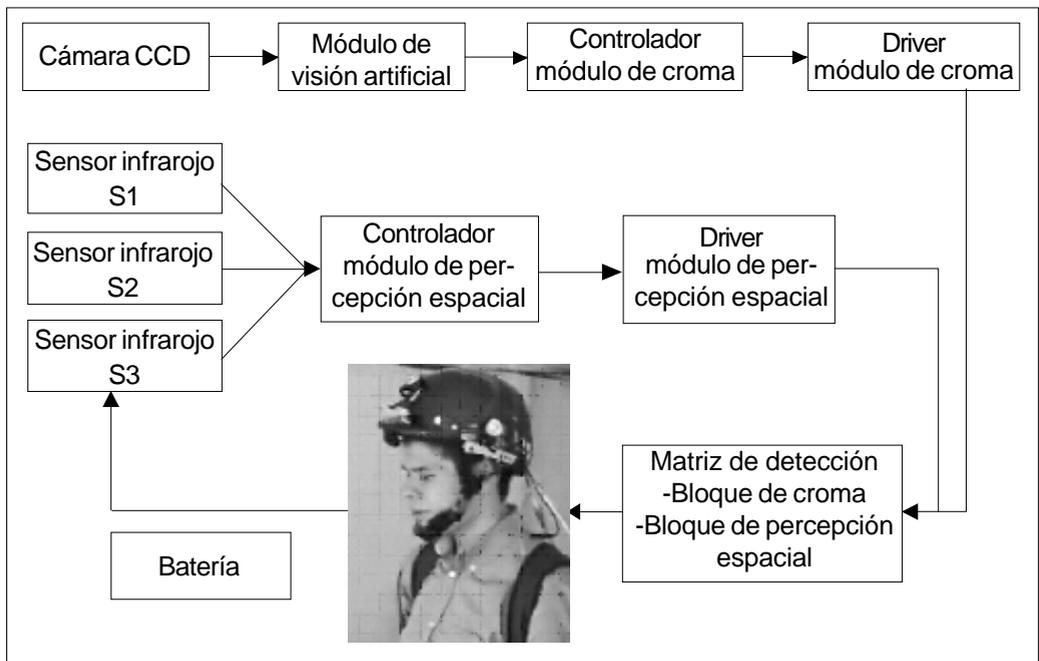


Figura 5. Diagrama de bloques del dispositivo tecnológico

Arquitectura del Bloque de Percepción Espacial

El módulo de percepción espacial identifica objetos que se encuentren al frente, a la izquierda y a la derecha a una distancia menor de dos metros de la persona invidente. El módulo posee tres sensores infrarro-

jos con sus correspondientes emisores y receptores. Un microcontrolador emite una señal estable que alimenta los emisores con un periodo de tiempo y un número de pulsos. Los transductores de entrada cap-

turan la luz infrarroja, que es devuelta por reflexión, si existe un objeto en el entorno de la persona invidente. Posteriormente se procesa esta información y se genera una señal de activación que alimenta un segundo microcontrolador, y activa la matriz de detección en el bloque de percepción espacial. Estas señales permiten a los transductores de salida excitar las neuronas aferentes en el sentido háptico, indicando al discapacitado visual, posición y orientación espacial de un objeto en su entorno.

Sistema de Control

El sistema de control para el bloque de percepción espacial está basado

en un microcontrolador PIC16F84 que presenta una alta versatilidad y flexibilidad como sistema de control. La señal de reloj está basada en un cristal de 20Mhz que sirve de base de tiempo al PIC. El microcontrolador emite la frecuencia moduladora de 15 KHz por los pines RB0, RB1 y RB2, que controla los emisores infrarrojos (figura 6).

Los pines RA0, RA1 y RA2 reciben las señales correspondientes a la reflexión de los rayos infrarrojos; por los pines RB3, RB4 y RB5 salen las señales de control respectivas a un segundo microcontrolador.

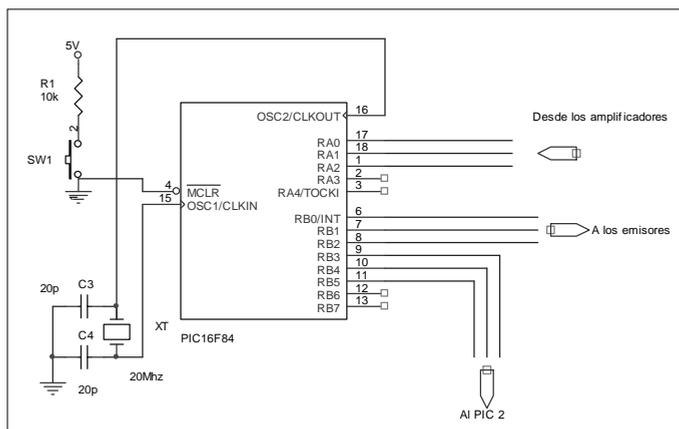


Figura 6. Esquema de control del Microcontrolador PIC 16F84

Arquitectura del Bloque de Percepción de Color

Para que la persona invidente pueda detectar los colores por medio de visión artificial, se diseñó un sistema conformado por una cámara ubicada en el casco, que captura la imagen que se encuentra al frente del sujeto. Esta señal entra en el com-

putador por medio del puerto USB en donde un software orientado a objetos (Visual C++) captura la señal en un arreglo ordenado de filas y columnas. El valor de cada uno de esos elementos va a ser el de un píxel de 24 bits (figura 7).



Figura 7. Pantalla de presentación del software

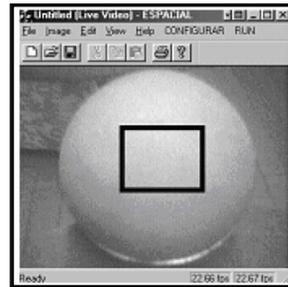


Figura 8. Reconocimiento de colores por visión artificial

La imagen tomada por la cámara pasa a la etapa de preprocesamiento (filtraje) donde se elimina la mayor cantidad de ruido posible. Posteriormente la imagen es analizada pixel a pixel en el sistema de color HLS (Hue, Saturation, Intensity), utilizado por los seres humanos videntes. Estas señales son almacenadas en un nuevo arreglo (histograma) en donde el eje Y corresponde al número de píxeles muestreados para cada color y el eje X determina la cantidad de colores que muestrea el sistema de visión artificial.

El color correspondiente al máximo valor en el histograma es enviado por el puerto paralelo del computador como entrada a un microcontrolador. Éste se encarga de pasar la información a la matriz de detección en el bloque de croma, activando el transductor correspondiente al color muestreado en la imagen. Esta información permite a la persona invidente relacionar un área háptica con el color de un objeto que se encuentra frente a él. La imagen capturada por el software Visual C++ es una matriz de 320 columnas por 240 filas. Cada elemento de la matriz corresponde a un pixel (figura 8).

Cada conjunto de problemas planteado a los sujetos se analizó de la siguiente forma:

Se parte de la información de la codificación de cada problema que resuelve el respectivo sujeto. Esta información se agrupa en una tabla donde estarán solo los elementos relevantes para el proceso de análisis de la búsqueda. También se cuenta con la representación gráfica o mapa de orientación de la trayectoria seguida por el sujeto para alcanzar el objeto. Para cada problema se dibuja un diagrama de flujo que describe gráficamente el procedimiento que siguió el sujeto para resolver el problema.

Con el diagrama de flujo y el mapa de orientación se toman los elementos preponderantes que el sujeto tuvo para resolver el problema; de este análisis surge un diagrama de flujo, el cual se compara con el respectivo resultado del otro sujeto en las mismas condiciones. De allí, se obtiene una representación gráfica del proceso de búsqueda genérica para sujetos con el bastón y para sujetos con el DMRE. Los dos diagramas anteriores se superponen para obtener un nuevo diagrama de flujo con los elementos comunes.

La tabla 1 muestra un ejemplo de reconocimiento de objetos usando el bastón como instrumento de apoyo que resuelve un problema de reco-

Tabla 1. Transcripción de eventos de un sujeto con bastón.

Evento	Actor	Código	Transcripción
7	E	Ei	Al frente suyo existe un objeto. Indique qué estrategias va a utilizar para encontrarlo. Localícelo expresando en forma verbal la ubicación espacial. Si no encuentra el objeto desde la posición donde se encuentra, puede ir hacia delante. Exprese qué dificultades tuvo para solucionar el problema. El objeto que va a localizar es una esfera.
8	T	Tr	El sujeto está lejos del objeto.
11	S	Ob	Entonces tendría que caminar hacia el frente.
12	S	Ob	Si no lo encuentro con el pie, tendría que abrir el bastón para saber dónde queda, saber dónde está ubicado.
13	T	O	El sujeto desenrolla el bastón.
15	S	Ob	Revisar con el bastón.
16	T	Op	El bastón toca el piso.
17	T	O	El sujeto lo dirige hacia el frente y a nivel del piso.
18	T	O	El sujeto hace barridos de izquierda a derecha con el bastón mientras camina siete pasos.
19	T	Op	Espacio circundante al frente.
20	T	Tr	El sujeto está lejos del objeto.
21	T	Op	El bastón toca una silla (límite).
22	E	Ev	Hacia allá no está.
23	T	O	Gira el cuerpo un poco hacia la izquierda.
24	T	O	El sujeto camina hacia el frente cuatro pasos.
25	T	Tr	El sujeto está cerca del objeto.
26	S	Hi	Entonces, como sé que no está,
27	S	O	daría un cuarto de giro, y me devolvería hacia allá.
28	T	Op	Toca la estructura con el bastón y posteriormente con la mano izquierda.
30	S	Op	Aquí encontré como un palo, una especie de escalera.
33	S	Ob	Tocaría seguir hacia allá, hacia el frente.
34	T	O	El sujeto gira aproximadamente 45 grados
35	T	Op	Pone el bastón en el piso.
36	T	O	El bastón toca el piso.
37	T	Op	El sujeto camina ocho pasos hacia delante y al mismo tiempo hace barridos con el bastón de izquierda a derecha.
38	T	Op	El bastón toca el piso.
39	T	Op	Espacio circundante al frente a nivel del piso.
40	T	Tr	El sujeto toca una silla del límite del salón con el bastón.
41	T	Ob	El sujeto está lejos del objeto.

Sensor para detectar el color y la posición de objetos mediante estimulación táctil en personas...

Evento	Actor	Código	Trascripción
43	S	O	Entonces, ahora seguiría hasta allá.
44	T	Op	Camina hacia el frente siete pasos haciendo el mismo barrido con el bastón.
45	T	Tr	El sujeto toca una silla.
46	T	Hi	El sujeto está muy lejos del objeto.
47	S	Op	Entonces sigo hacia acá, sigo hacia la puerta a ver si la encuentro allá.
48	T	Op	Sigue caminando y toca la estructura con el bastón.
49	T	Tr	Posteriormente toca la estructura con la mano izquierda.
50	T	Ob	El sujeto está medianamente cerca del objeto.
52	S	Op	Entonces, debería coger hacia allá a ver si encuentro el objeto hacia el frente.
53	T	Op	El bastón toca el piso.
54	T	Op	Espacio circundante al frente a nivel del piso.
55	T	O	El sujeto toca una silla con el bastón.
56	T	Op	El sujeto rota un poco hacia la izquierda,
57	T	Tr	camina hacia el frente nueve pasos con el bastón
58	T	Op	El sujeto está muy lejos del objeto.
59	T	O	El bastón es arrastrado por el piso.
60	T	Op	El sujeto hace un barrido al frente con el bastón.
61	T	Ev	Espacio circundante al frente a nivel del piso.
63	S	Ev	Pienso que no está porque no lo encontré.
64	S	Ev	O sea, caminé por todo el salón y no la encontré.
66	S	Ev	¿Qué estaba al frente?
67	E		¿Y usted que hizo?
68	S	Ev	Lo que hice fue caminar hacia el frente y observé una escalera donde estaba eso.
71	S	Ob	Debería buscarlo sin el bastón.
72	T	O	El sujeto vuelve al punto de inicio en la misma dirección.
73	T	Tr	El sujeto está lejos del objeto.
75	S	Ob	Debería volver, caminar y explorar con el pie a ver si encuentro la esfera.
77	S	Ev	Yo lo utilizo cuando voy a la calle, para percibir lo que son obstáculos, como huecos, postes.
78	T	O	El sujeto vuelve a recoger el bastón y lo coloca en su mano izquierda.
79	E		¿Entonces, cuál es la estrategia que va a seguir?
80	S	O	Caminar y buscar sin el bastón a ver si lo encuentro.
81	E		¿No necesita que le repita el problema?

La figura 9 muestra el diagrama que representa la trayectoria seguida por el sujeto de la tabla 1.

La tabla 2 muestra la transcripción de eventos de un sujeto que utiliza el DMRE como apoyo en el proceso de identificación de objetos ubicados en su entorno cercano.

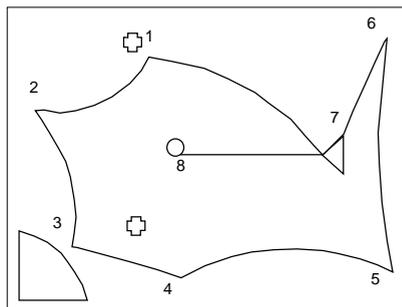


Figura 9. Trayectoria de un sujeto con bastón.

Tabla 2. Transcripción de eventos de un sujeto que utiliza el DMRE

Evento	Actor	Código	Transcripción
6	E	Ei	En frente de usted existe un objeto. Indique qué estrategias va a utilizar para encontrarlo. Localícelo expresando en forma verbal la ubicación espacial. Si no encuentra el objeto desde la posición donde se encuentra, puede ir hacia delante, puede rotar la cabeza hacia arriba y hacia abajo para detectar el objeto. Expresé qué dificultades tuvo para solucionar el problema. El objeto que va a localizar es una esfera.
7	T	Tr	El sujeto está cerca del objeto.
8	S	Op	Vibración en el estómago
10	S	Op	en la parte superior
12	S	Op	derecha.
14	S	Op	Al centro.
18	S	Ob	¿Buscarlo?
20	S	Ob	Con las manos.
22	T	O	El sujeto estira las manos.
23	T	Op	Espacio circundante a nivel de la cabeza.
24	T	Tr	El sujeto está muy cerca del objeto.
25	T	Pm	El sujeto coge la esfera.

La figura 10 muestra la ruta seguida por el sujeto que utiliza el DMRE como dispositivo de apoyo para identificar

objetos cercanos en su entorno. Las diferencias con el sujeto que usa bastón son evidentes.

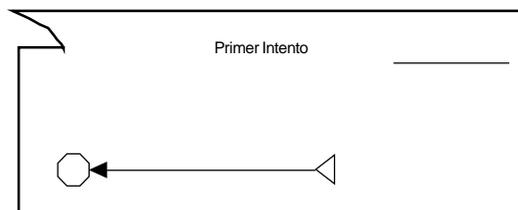
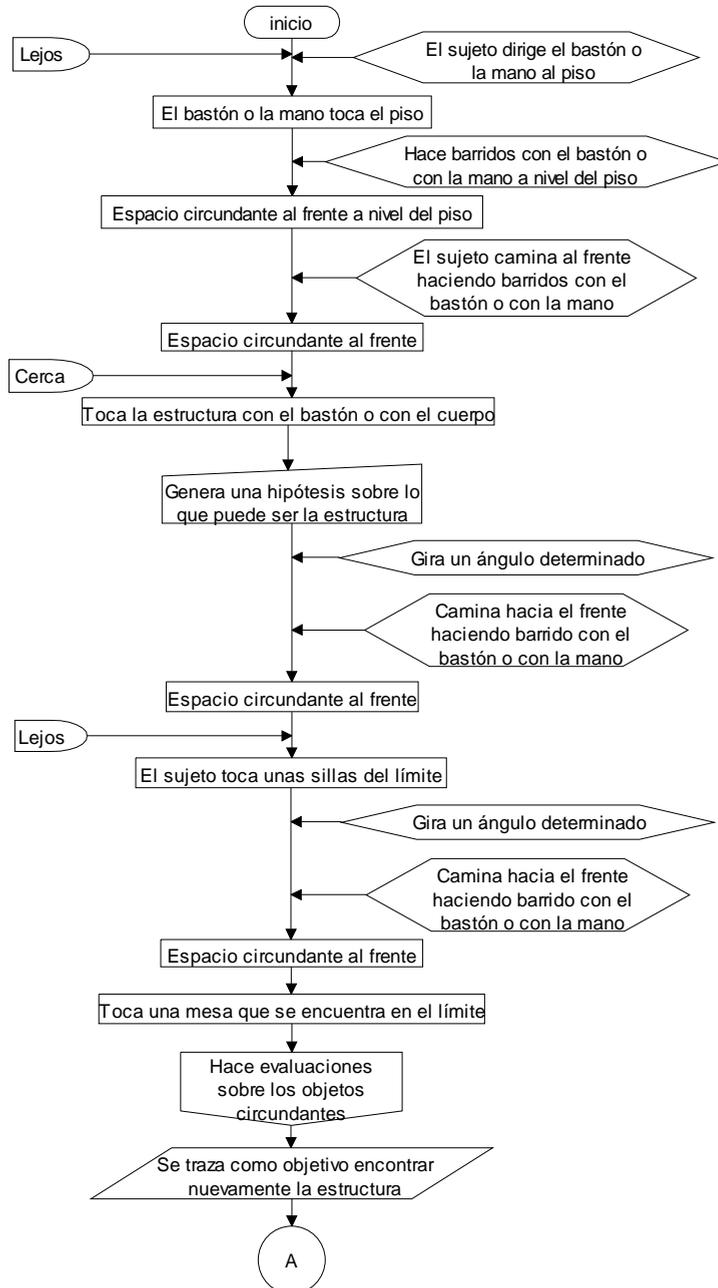


Figura 10. Trayectoria de un sujeto con el DMRE



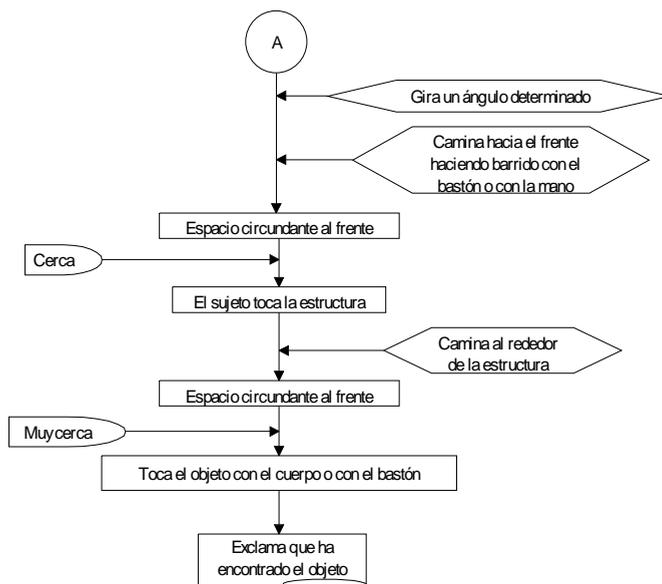


Figura 11. Tendencia de la búsqueda de sujetos con bastón a variaciones del tamaño del objeto al frente

La figura 11 muestra la representación gráfica o diagrama de flujo de la tendencia desarrollada por los sujetos invidentes con bastón como dispositivo de apoyo, para identificar objetos cercanos en su entorno.

La figura 12 muestra la representa-

ción gráfica o diagrama de flujo de la tendencia desarrollada por los sujetos que utilizaron el DMRE como dispositivo de apoyo para identificar objetos cercanos en su entorno. Las diferencias con el sujeto que usa bastón son evidentes.

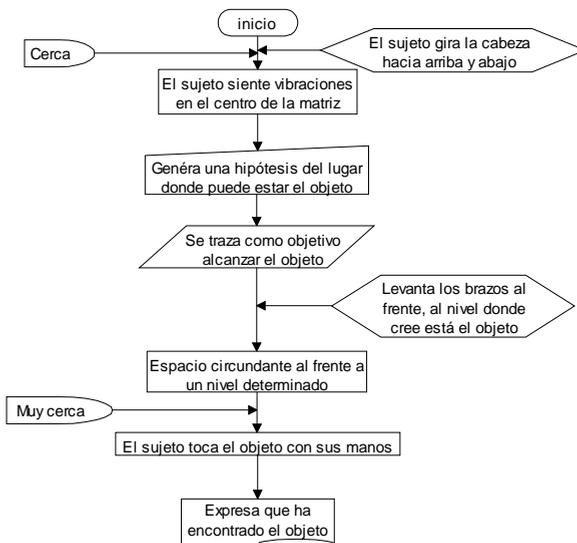


Figura 12. Tendencia de la búsqueda de sujetos con el dispositivo a variaciones del tamaño del objeto al frente.

La tabla 3 muestra un ejemplo de transcripción de datos de un sujeto que resuelve un problema de ordenamiento de objetos teniendo en cuenta el respectivo color. El sujeto utiliza el bastón como instrumento de apoyo.

Tabla 3. Transcripción de eventos de un sujeto con bastón en ordenamiento de objetos por color

Evento	Actor	Código	Transcripción
840	E	Ei	Existen tres cubos de color verde, azul y amarillo en frente de usted y a su alcance. Ponga el cubo verde encima del cubo azul. Explique qué estrategias va a utilizar para resolver este problema y, posteriormente, indique las dificultades que tuvo para solucionar el problema.
841	T	Tr	El sujeto está medianamente cerca del cubo amarillo.
842	T	Op	El sujeto toca con el bastón el cubo amarillo.
843	T	Op	Luego, con el bastón toca el cubo verde.
844	T	Op	Después, el sujeto toca el cubo azul con el bastón.
845	S	Pm	Aquí está un cubo, aquí está el otro y aquí está el otro.
846	T	O	El sujeto indica cada uno de los cubos con el bastón.
847	S	Ev	Pero no puedo colocar el azul encima del verde, pues para mi todos son iguales. No tengo identificación de color.

La figura 13 muestra el diagrama que representa la trayectoria seguida por el sujeto de la tabla 3. El sujeto no puede resolver el problema.

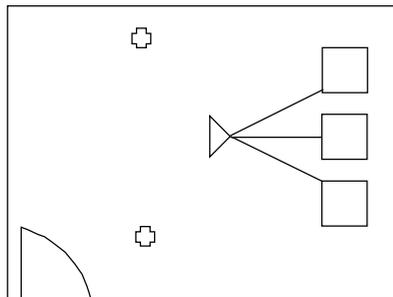


Figura 13. Trayectoria del sujeto con bastón.

La tabla 4 muestra la transcripción de eventos de un sujeto que utiliza el DMRE como apoyo en el proceso de ordenamiento de objetos por el color respectivo.

Tabla 4. Transcripción de eventos de un sujeto que utiliza el DMRE ordenando objetos por el color respectivo.

Evento	Actor	Código	Transcripción
847	E	Ei	Existen tres cubos de color rojo, azul, verde en frente de usted y a su alcance. Coloque el cubo verde encima del cubo azul. Explique qué estrategias va a utilizar para resolver este problema y, posteriormente, indique las dificultades que tuvo.
848	T	Tr	El sujeto está cerca de la esfera.
853	S	Ob	Buscar los cubos.
854	E	Ob	El primer paso es buscar los cubos.
856	S	Ob	Tratar de identificarlos.
858	S	Ob	El de color verde y el de azul.
861	T	O	El sujeto camina dos pasos hacia el frente.
862	T	Op	Espacio circundante al frente.
863	T	Tr	El sujeto está muy cerca del cubo azul.
864	T	Pm	El sujeto encuentra primero el cubo azul.
866	S	Ev	Un cubo.
868	S	Ob	Seguir buscando.
872	T	O	El sujeto dirige la cara hacia el cubo.
873	S	Pm	Es azul.
877	S	Ob	El verde.
878	T	O	El sujeto camina un paso a la izquierda.
879	T	Op	Espacio circundante a la izquierda.
880	T	Tr	El sujeto está muy cerca del cubo verde.
881	T	Pm	El sujeto toca el cubo verde.
883	S	Ob	Identificar el color.
885	S	Ob	Poner la cara de frente al objeto.
887	T	O	El sujeto dirige su cara hacia el cubo.
888	S	Hi	Creo que es el verde.
890	S	Pm	El verde.
892	S	Ob	Colocarlo sobre el azul.
894	T	O	El sujeto alza el cubo verde.
895	T	Tr	El sujeto está muy cerca de los cubos verde y azul.
896	T	O	El sujeto coloca el cubo verde sobre el cubo azul.
898	S	Pm	Listo.

La figura 14 muestra la ruta seguida por el sujeto que utiliza el DMRE como dispositivo de apoyo para identificar

objetos por el color respectivo. El sujeto que utiliza el DMRE resuelve el problema planteado.

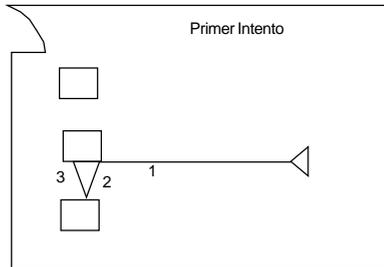


Figura 14. Trayectoria del sujeto con el DMRE.

La figura 15 muestra la representación gráfica o diagrama de flujo de la transcripción desarrollada por el su-

jeto invidente con bastón como dispositivo de apoyo para ordenar objetos por el color respectivo.

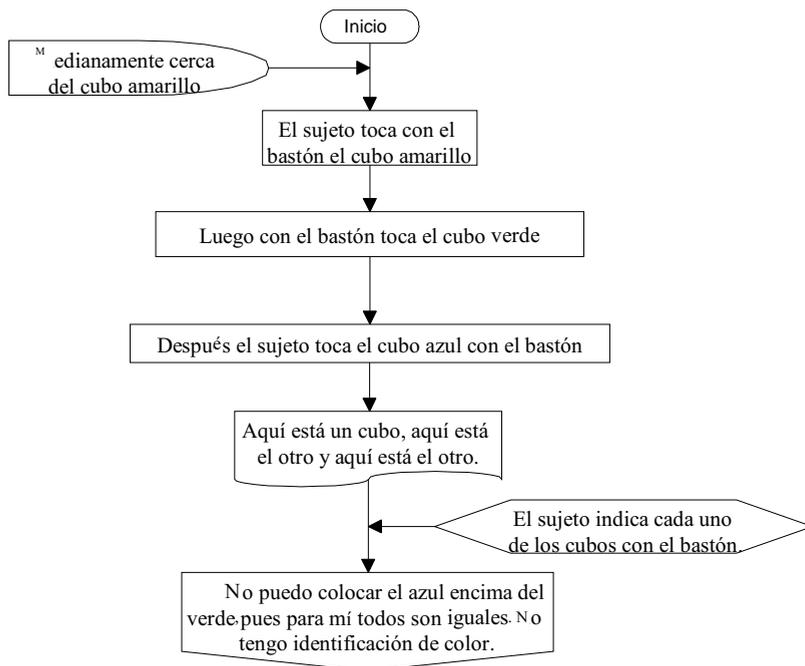


Figura 15. Diagrama de flujo del sujeto con el bastón.

La figura 16 muestra la representación gráfica o diagrama de flujo de la transcripción desarrollada por el sujeto que utilizó el DMRE como dispositivo de apoyo para ordenar objetos por el color respectivo. En la ex-

perimentación los sujetos que utilizaron el DMRE resolvieron este tipo de problemas. Los sujetos que utilizaron el bastón no pudieron resolver el problema.

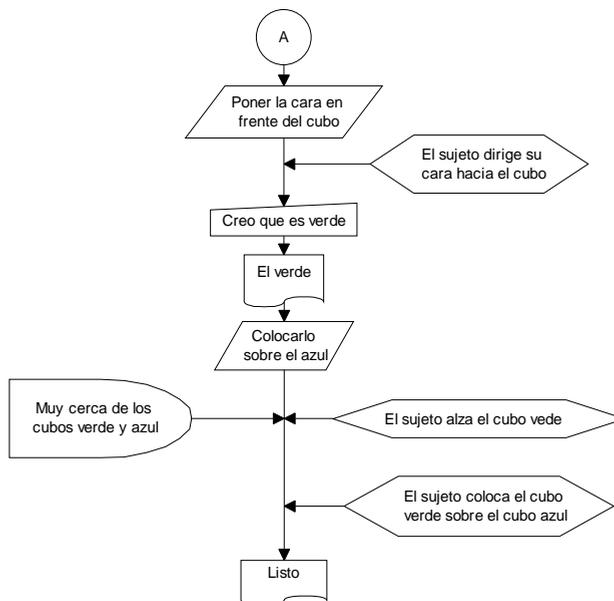


Figura 16. Diagrama de flujo del sujeto con el DMRE.

CONCLUSIONES

El proceso de búsqueda para un sujeto ciego con bastón es muy diferente al proceso de búsqueda de un sujeto ciego que utiliza el dispositivo tecnológico para hallar objetos de distinto tamaño situados al frente del sujeto, manteniendo constante la distancia horizontal. En concordancia con los trabajos realizados por Rieser, Guth y Hill (1986), en que los ciegos con bastón presentan una gran dificultad para orientarse en el espacio, y las investigaciones de Ochaita, Huertas y Espinosa (1991), en que se prevé que los ciegos con

bastón pueden alcanzar representaciones espaciales configuracionales, los sujetos con el dispositivo llegan fácilmente a encontrar el objeto, describiendo una trayectoria rectilínea, en contraposición a los sujetos con bastón, que describen trayectorias complejas. Esto prueba la eficacia y eficiencia del dispositivo en las personas ciegas.

El proceso de búsqueda para un sujeto ciego con bastón es muy diferente al proceso de búsqueda de un sujeto ciego que utiliza el dispositivo tecnológico para hallar objetos situa-

dos al frente del sujeto a diferentes distancias horizontales manteniendo constante el tamaño y la altura del objeto, en conformidad con los trabajos llevados a cabo por Ochaita (1993) y Hill y Ponder (1976) en que se identifican los procesos cognitivos cuando una persona hace una representación espacial.

El proceso de búsqueda para un sujeto ciego con bastón es muy diferente al proceso de búsqueda de un sujeto ciego que utiliza el dispositivo tecnológico para hallar objetos situados al frente del sujeto a diferentes alturas, manteniendo constante el tamaño y la distancia horizontal del objeto, en correspondencia con los trabajos realizados por Passini y Langois (1986) y Passini y Proulx (1988) en que se diferencian, para este caso, los juicios sobre el espacio o las diferentes respuestas de los sujetos ciegos utilizando el bastón y utilizando el dispositivo tecnológico.

El proceso de búsqueda para un sujeto ciego con bastón es muy diferente al proceso de búsqueda de un sujeto ciego que utiliza el dispositivo tecnológico para hallar objetos situados a la izquierda del sujeto, a diferentes distancias horizontales, manteniendo constante el tamaño y la altura del objeto. Este trabajo de investigación aporta a las investigaciones desarrolladas por Foulke (1983 y 1984), el cual enfatiza en que, para los ciegos, el proceso de movilizarse es un trabajo en que se percibe una alta planeación con un alto costo de tipo cognitivo, que genera un proceso de anticipación cognitiva, en contraposición a los videntes, que pueden pasear al desplazarse y utilizar,

por la visión, un proceso de anticipación perceptiva.

El proceso de búsqueda para un sujeto ciego con bastón es muy diferente al proceso de búsqueda de un sujeto ciego, que utiliza el dispositivo tecnológico para hallar objetos situados a la derecha del sujeto, a diferentes distancias horizontales, manteniendo constante el tamaño y la altura del objeto, en concordancia con las investigaciones de Ochaita, Huertas y Espinosa (1993), las que concluyen que los ciegos presentan una gran dificultad para emitir juicios sobre la dirección en la que se encuentran los objetos de un lugar.

El proceso de búsqueda para un sujeto ciego con bastón es muy diferente al proceso de búsqueda de un sujeto ciego que utiliza el dispositivo tecnológico para hallar objetos situados al frente del sujeto entre la izquierda y la derecha, variando la posición angular y manteniendo constante el tamaño y la altura el objeto. Este trabajo contribuye a las investigaciones desarrolladas por Linderberg y Garling (1981), las cuales indican que la precisión en la orientación está relacionada con el número de cambios de dirección. En este caso, los sujetos con bastón caminan y giran varias veces antes de encontrar el objeto, mientras que los sujetos con el dispositivo simplemente caminan en dirección del objeto. De igual forma Rieser y Pick (1981), Rieser, Lockman y Pick (1980), Ungar, Blades y Spencer (1991) hacen referencia a la dificultad que presentan los ciegos para la estimación de las distancias euclidianas. Para resolver este tipo de problemas, los

ciegos con bastón tendieron a presentar curvas funcionales o complejas, mientras que los sujetos con el dispositivo tendieron a describir trayectorias euclidianas o rectilíneas. Esto prueba la eficacia y eficiencia del dispositivo en las personas ciegas.

Para objetos de diferentes colores situados frente al sujeto, el proceso de búsqueda para un sujeto ciego con bastón es muy diferente al proceso de búsqueda de un sujeto ciego que utiliza el dispositivo tecnológico. Este trabajo complementa las investigaciones desarrolladas por Fletcher (1981), Foulke (1982) y Slator (1982) en los que han concluido que las personas ciegas tienen dificultad en organizar sus representaciones espaciales, ya que el captar la información de una forma fragmentaria y serial impide que los ciegos, al entrar en nuevos contornos, estén en capacidad de alcanzar la organización configuracional de una representación espacial. Los sujetos con bastón recogen la información a medida que van desplazándose; el objeto sólo aparece ante ellos cuando hace contacto con las manos, el cuerpo o el bastón. Los sujetos que utilizan el dispositivo pueden captar la posición y dirección del objeto sin haberlo tocado.

Los sujetos con bastón no pudieron resolver este tipo de problemas, mientras que, con el dispositivo, los sujetos si pudieron resolverlo en todos los casos. Esto prueba la eficiencia y la eficacia del dispositivo para captar y procesar el color de los objetos.

Para objetos de diferentes colores, situados frente al sujeto, que se de-

ben ordenar espacialmente de acuerdo con el color, el proceso de búsqueda para un sujeto ciego con bastón es muy diferente al proceso de búsqueda de un sujeto ciego que utiliza el dispositivo tecnológico. Este trabajo complementa las investigaciones desarrolladas por Moore y Golledge (1976), en las cuales el conocimiento de imágenes, información, impresiones y creencias de los individuos y grupos acerca de los aspectos fundamentales que rodean al sujeto crean la cognición espacial de éste. En este caso, la posibilidad de detectar los colores por parte de los sujetos con el dispositivo crea una nueva dimensión, mejorando considerablemente la cognición espacial del sujeto en relación con los sujetos con bastón.

Se pudo comprobar, según Purves (2001), que la discriminación mecánosensitiva de la superficie corporal en la zona del vientre era 35 mm, ya que los actuadores (solenoides) utilizados en la matriz de detección estaban ubicados a esa distancia. Los sujetos que utilizaron el dispositivo pudieron discriminar las diferentes señales que llegaban a la matriz de detección.

Según los resultados planteados a los sujetos con el dispositivo, el módulo de representación espacial, que forma parte del dispositivo tecnológico, sí permite al sujeto identificar objetos situados en un intervalo menor de dos metros al frente, a la izquierda y a la derecha del sujeto. De esta forma el dispositivo potencia a las personas ciegas para desarrollar procesos más eficientes de búsqueda.

El módulo de croma, que forma parte del dispositivo tecnológico basado en principios de visión artificial para procesamiento digital de imágenes, según Escalera (2001), Maravall (1993), Paulus (1938) y Cantón (1997), sí permite que las personas identifiquen los objetos por el color respectivo. Esto posibilita crear en los sujetos ciegos una nueva dimensión para categorizar los objetos.

El dispositivo tecnológico permitió a los sujetos invidentes que lo utilizaron hacer el proceso de búsqueda con las dos manos libres. Esto permite, según Webster (1981) que las personas ciegas se movilicen con más eficiencia, eficacia, seguridad y gracia en determinado espacio porque involucran información perceptiva y motriz, en contraposición a los sujetos con bastón, quienes mantenían una de las manos cogiendo el bastón.

Al analizar las trayectorias seguidas por los sujetos de la experimentación,

se pudo concluir que los sujetos con bastón tendían a seguir trayectorias complejas, mientras que el grupo con el dispositivo tecnológico tendía a seguir trayectorias rectilíneas. Este efecto se debió a que, en el último caso, los sujetos podían detectar, por medio del dispositivo, la posición y dirección del objeto antes de salir.

El análisis utilizado en la experimentación por medio de protocolos verbales (Maldonado, 2001; Gauvain y Rogoff, 1989; Waller, 1985; Waller y Harris, 1988), es un medio eficiente y eficaz para desarrollar investigaciones con sujetos invidentes.

De acuerdo con el análisis desarrollado en esta investigación, se puede concluir que sí existen diferencias en cuanto a representación espacial de un ambiente artificial entre un grupo de ciegos congénitos que utilizan un transductor que convierte señales de croma e infrarrojas en sensaciones hápticas y otro grupo que utiliza el bastón clásico.

BIBLIOGRAFÍA

Carpenter, R. (1986). *Principios de neurofisiología médica*. México: Editorial El Manual Moderno.

Carreiras, M. (1986). Mapas cognitivos: revisión crítica. *Estudios de psicología*, 26, 61-91.

Escalera, A. (2001). *Vision por computador*. Madrid: Editorial Prentice.

Ericson, K. A. y Simon, H. A. (1993). *Protocol Analysis: Verbal Reports as data*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Foulke. (1982). Reception, cognition and mobility of blind pedestrian. En M. Potegal

(ed.): *Spatial Abilities*. Nueva York: Academic Press.

Foulke. (1983). Spatial information and spatial knowledge. Comunicación presentada al Louisville Space Conference.

Foulke. (1984). Spatial ability and the limitations of perceptual systems. En H. L. Pick y L.P. acedolo (eds.) *Spatial Orientation*, Nueva York: Plenum Press.

Gauvain, Rogoff, (1989). Ways of speaking about the space: The development of children's skill in communicating spatial knowledge. *Cognitive Development*, 4, 295 – 307.

- Goel, V. y Pirolli, P. (1993). La estructura de los espacios en el Diseño. *Cognitive Science* 16 (3), 395-429.
- Hill, E.W. y Ponder, P. (1976). Orientation and mobility techniques: A guide for the practitioner. Nueva York: American Foundation for the Blind.
- Hill (1986). Orientación and mobility. En G. T. Scholl. *Foundations of Education for Blind and Visually Handicapped Children and Youth*. Nueva York: American Foundation for the Blind.
- Maldonado G., L.C. (2001). *Análisis de protocolos: posibilidad metodología para el estudio de procesos cognitivos*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Maravall, D. (1993). *Reconocimiento de formas y visión artificial*. Madrid: Editorial RAMA.
- Moore, G. T. y Golledge, R. G. (1976). Environmental knowing: concepts and theories. En G. T. Moore y T. G. Golledge (eds.) *Environmental, Research and Methods*. Stroudsburg, PA: Dowden, Hutchinson y Ross.
- Ochaita, (1993). *Psicología de la ceguera*. Alianza Editorial.
- Ochaita, Huertas, J. A. y Espinosa, M. (1991). Representación espacial en los niños ciegos: una investigación sobre las principales variables que la determinan y los procedimientos de objetivación más adecuados. *Infancia y Aprendizaje*, 54, 53-79.
- Passini, R.; Dupre, A; Langois, C. (1986). Spatial mobility of the visually handicapped active person: A descriptive study. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 80 (8), 904-909.
- Passini y Proulx, G. (1988). Wayfinding without vision: An experiment with congenitally totally blind people. *Environment and Behavior*, 20 (2), 227-252.
- Paulus, D. (1998). *Applied pattern recognition*. Editorial Vieweg.
- Purves, D. (2001). *Invitación a la neurociencia*. Madrid: Editorial Medica Panamericana.
- Rieser, G. y Hill. (1986). Sensitivity to perspective structure while without vision. *Perception*, 15, 173-188.
- Rich y Knight. (1996). *Inteligencia artificial*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Russell, S. y Norvig P. (1996). *Inteligencia artificial. Un enfoque moderno*. México D.F.: Prentice Hall.
- Scholl, G. T. (1986). Growth and Development. En G. T. Scholl (ed.). *Foundations of education for blind and visually handicapped children and youth*. New York: American Foundation for the Blind.
- Slator, R. (1982). *The development of spatial perception and understanding in young children*. Tesis Doctoral no publicada, Universidad de Oxford.
- Thompson, F. A. (1963). Is continuous visual monitoring necessary in visually guided locomotion? *Journal of Experimental Psychology: Human perception and Performance*, 9, 427-443.
- Ungar, S.; Blades, M. y Spencer, C. (1991). The use of maps in visually impaired children to estimate directions and distances in the environment. Paper presented at the British Psychological Society: Developmental Section. Annual Conference, Cambridge in September.