

Creación de una Herramienta que Permita Mover el Cursor de un Computador a Partir del Movimiento Ocular, Utilizando Técnicas de Visión Artificial

Francisco A. Justo T.

Iñaki Aguirre G.

Departamento de Control y Automatización

Escuela de Ingeniería de Sistemas

Universidad de Los Andes

Mérida, Venezuela

RESUMEN

El estudio presentado está dirigido a crear una herramienta que permita mover el cursor de un computador, mediante el movimiento ocular, utilizando técnicas de visión artificial. La herramienta creada trae grandes beneficios a personas con capacidades reducidas, ofreciéndoles la oportunidad de interactuar con el mundo exterior y, de esta manera, elevar su autoestima, proporcionándoles la máxima funcionalidad posible a pesar de la lesión que hayan sufrido. El estudio realizado afirma la utilidad que tienen las técnicas de visión artificial, en el desarrollo de herramientas que pueden mejorar la calidad de vida de un ser humano. Por otro lado, se destaca entre las conclusiones que el sistema desarrollado resultó exitoso y tiene un gran potencial de réplica, debido a su bajo costo.

Palabras clave: Visión artificial, Cursor del computador, Tetraplejia

ABSTRACT

The purpose of the present study is to move the computer's cursor through eye's movement using artificial vision techniques. The tool has created great benefits for people with reduced capabilities, offering the opportunity to interact with the outside world and thus, increase their self-esteem, providing the maximum functionality possible in spite of the injury they have suffered. The study affirms the usefulness of the techniques that have artificial vision, to develop tools that can improve a human's being life quality. On the other hand, it stands out among the findings that the developed system proved successful and has great potential for replication because of its low cost.

Keywords: Artificial vision, Computer cursor, Tetraplegia

1. INTRODUCCIÓN

Los ordenadores o computadoras, parte fundamental de la tecnología informática, son según Turégano (2006) sistemas digitales capaces de procesar y almacenar información a partir de un grupo de instrucciones llamado programa. Sin embargo, el manejo de un computador tradicional requiere la capacidad física del movimiento de por lo menos una de las extremidades del ser humano, con lo cual se limita el acceso a personas tetraplégicas. La tetraplejia es una enfermedad causada por daños en la médula espinal que impide la movilidad de las cuatros extremidades del ser humano, reduciendo la capacidad de estas personas al dejarlas inhabilitadas para realizar actividades del día a día y ocasionando grandes traumas psicológicos a las personas que llegan a padecer de dicha enfermedad (Health System, 2008).

En este sentido, la disposición de una herramienta que permita controlar el cursor del ratón a través del movimiento ocular es, sin duda alguna, un gran avance tecnológico que permite ampliar el tipo de usuarios. Esto hace posible que con recursos relativamente económicos y sin la necesidad de someter al usuario a una intervención médica, cualquier persona discapacitada pueda interactuar con el computador y con esto tener acceso a tareas que le asegurarán un mejoramiento en su calidad de vida. Entre la variedad de oportunidades que brinda la herramienta está la comunicación, entretenimiento, acceso a diversidad de información, estudios o trabajar, dependiendo de las condiciones del usuario.

2. DISEÑO DEL PROTOTIPO

Con bases previamente establecidas en cuanto a las técnicas y procedimientos que se deben utilizar para la creación de la herramienta de ayuda a discapacitados, se procede a diseñar y elaborar el prototipo. El diseño y la implantación de un prototipo es parte fundamental de la creación de un nuevo producto, ya que éste es el que hace posible realizar todas las pruebas necesarias para determinar el éxito del mismo.

En el caso de la herramienta planteada se utiliza una cámara de video que permita capturar las imágenes en tiempo real. Respecto a la iluminación en la zona de la imagen, se recurre a un LED (*Light-Emitting Diode*) emisor de infrarrojo, ya que este tipo de luz no es percibida por el ojo humano, por lo que se evita cualquier molestia como dilatación de la pupila o encandilamiento. Adicionalmente, resulta necesaria la aplicación de diversas técnicas para lograr obtener una imagen del ojo con áreas significativas que pudiesen ser tratadas con el fin de lograr el movimiento del cursor, en la medida que dichas áreas cambian de acuerdo a ciertos parámetros.

El desarrollo de este prototipo parte de la premisa de lo expuesto por Turégano (2006), donde explica que la técnica de segmentación dado una semilla, permite detectar la zona de interés y, además, mediante la manipulación del entorno se lograría que dicha segmentación tuviese un alto grado de robustez.

2.1 CREACIÓN DEL PERIFÉRICO ALTERNATIVO

La característica fundamental del dispositivo es que debe estar ubicado de manera que pudiese capturar la zona de interés, es decir, la región del ojo del usuario, de manera precisa. La necesidad de enfocar únicamente la zona del ojo del usuario y no una mayor región se debe a la utilización de una cámara comercial económica de relativa baja resolución (1.3 mega píxel). A continuación se explican los pasos seguidos para la creación del periférico visual alternativo para el desarrollo de la herramienta planteada.

2.1.1 MODIFICACIONES DE LA CÁMARA

Bajo el criterio previamente establecido que se utiliza la técnica de detección por video basada en la pupila y la reflexión córnea para medir el movimiento ocular, el primer paso necesario para la creación del prototipo es hacer una modificación a la cámara para que pueda captar la luz infrarroja. Esto se debe a que todas las cámaras digitales comunes disponen de un sensor, normalmente un CMOS (del inglés *Complementary Metal Oxide Semiconductor*), los cuales son sensibles a toda la luz visible tanto para el ojo humano como a la luz infrarroja. Ahora, para evitar que la luz infrarroja sature los colores y genere una imagen irreal, dichos sensores están provistos de un filtro, de manera que sólo pueda pasar la luz visible. En este sentido, la modificación consiste en retirar el filtro que viene con la cámara y colocar en su lugar un filtro infrarrojo que bloquea la luz visible y deja pasar solo la infrarroja, logrando con esto transformar la cámara en infrarroja.

Actualmente, como lo menciona Turégano (2006), existe una serie de filtros comerciales como los de Lee, Cokin, entre otros, los cuales podrían ofrecer una mejor calidad en la imagen. Sin embargo, dichos filtros tienen costos que elevarían considerablemente el valor del producto final, lo que desviaría la idea inicial de crear una herramienta económica que lograra el objetivo deseado. Tomando esto en consideración, se utiliza un negativo fotográfico velado, ya que brinda buena calidad de la imagen, y además, puede conseguirse fácilmente sin costo alguno.

2.1.2 ILUMINACIÓN DE LA IMAGEN

La iluminación es uno de los elementos más críticos en la calidad de la imagen a tratar. En la construcción del dispositivo para iluminar la zona del ojo, se utiliza un LED emisor de infrarrojos, la energía proporcionada al LED se suministra a través de la computadora utilizando un cable USB (*Universal Serial Bus*). Sin embargo, dado que el LED funciona con un voltaje de máximo de 2 voltios y el puerto USB proporciona 5 Voltios, resulta necesario añadir una resistencia, de manera que el LED funcione correctamente sin quemarse. Justo (2009).

2.1.3 ENSAMBLAJE DEL PERIFÉRICO

Luego de realizar las modificaciones a la cámara y de crear el dispositivo para la iluminación de la imagen, se procede a ensamblar el periférico que se utilizará para el desarrollo de la herramienta que se presenta en este trabajo. Tomando en cuenta que la cámara debe posicionarse de manera que enfoque la región del ojo del usuario y, a su vez, se mantuviese fija a pesar del movimiento que pudiese tener el mismo, se decide utilizar una gorra para sujetar los dispositivos mencionados. En líneas generales, se pretende fijar la cámara y el componente de iluminación a la visera de la gorra utilizando un tornillo con una tuerca, de manera que la cámara quede enfocando la zona de interés. Adicionalmente, se añade alambre al cable de alimentación USB para poder direccionar el LED y, con esto, lograr iluminar adecuadamente la región del ojo.



Figura 1: Periférico Alternativo Visual

3. METODOLOGÍA DE LAS FUNCIONES DE VISIÓN ARTIFICIAL

Tomando en consideración que la aplicación requiere procesamientos en tiempo real para su ejecución, de manera que el cursor se mueva coordinadamente con el movimiento ocular del usuario, con los mejores tiempos de respuesta posible, resulta necesario utilizar un lenguaje de programación de bajo nivel. Se utiliza la librería llamada *OpenCV (Open Source Computer Vision Library)*, la cual tiene implementada más de 500 funciones que abarcan muchas áreas de la visión y está especialmente diseñada para el tratado de imágenes en tiempo real (Bradski y Kaehler, 2008). De esta manera se determina la utilización de *OpenCV* para el desarrollo del *software* y, con ella, el lenguaje de programación C++. La librería mencionada fue creada por Intel para que fuese de acceso libre y, además, multiplataforma (compatible con Mac Os, Linux y Windows). Una de las ventajas que prevaleció en la decisión de su utilización, es que los tiempos de ejecución de las funciones de visión artificial utilizadas en el proyecto resultaron cumplir con las especificaciones de diseño (latencia pequeña, menos de 130 milisegundos).

4. PASOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

- Captura de la imagen.
- Se invierte la imagen.
- Se transforma la imagen a escala de grises.
- Para el movimiento del cursor:
 - o Obtención del pixel semilla.
 - o Segmentación dado una semilla.
 - o Morfología binaria.
 - o Buscar centro aproximado del círculo.

- Para la ejecución del clic:
 - o Resta de imagen que se captura en el proceso de calibración con imagen tomada en tiempo de ejecución.
 - o Aplicar un umbral establecido a la imagen resultante de la resta.
 - o Calcular histograma de la imagen.
 - o Comparar histograma resultante con el histograma de una imagen totalmente negra.

Tabla 1: Descripción de los Estados de la Red de Petri, Parte 1

Estado	Descripción
L1	Ventana de bienvenida.
L2	Verificación de la variable Capture, para validar si se está capturando la imagen de la cámara web.
L3	Muestra una ventana de advertencia que indica que no tiene cámara conectada al computador.
L4	Muestra una ventana en la cual se está capturando en Tiempo Real (TR) la imagen que se obtiene de la cámara web, esta ventana se usa para hacer el proceso de calibración ojo abierto.
L5	Muestra una ventana en la cual se está capturando en TR la imagen que se obtiene de la cámara web, esta ventana se usa para hacer el proceso de calibración ojo cerrado.
L6	Muestra una ventana en la cual se esta ejecutado en TR el algoritmo para detectar el centroide la pupila, la región de movimiento y cuando se quiere hacer un clic o doble clic.
L7	Muestra menú que se despliega al hacer clic derecho sobre el icono de la aplicación, en donde se observan dos opciones, la de ajustar la sensibilidad y la de cerrar la aplicación.
L8	Activa las funciones API correspondientes para realizar el clic o doble clic.
L9	Activa función API para realizar el movimiento del cursor hacia la izquierda.
L10	Activa función API para realizar el movimiento del cursor hacia la derecha.
L11	Activa función API para realizar el movimiento del cursor hacia arriba.
L12	Activa función API para realizar el movimiento del cursor hacia abajo.

5. REPRESENTACIÓN DEL ALGORITMO MEDIANTE REDES DE PETRI

Las Redes de Petri (RP) son una herramienta matemática que puede utilizarse para el modelado de sistemas de diversa naturaleza. La misma fue desarrollada por Carl Adam Petri en su tesis doctoral como un modelo de propósito general para la descripción de las relaciones existentes entre condiciones y eventos. De manera general, la herramienta consiste en un grafo orientado formado por dos tipos de nodos, los lugares y las transiciones, los cuales están unidos alternativamente por arcos orientados. Cada lugar representa el estado al que puede llegar el sistema, mientras que la transición indica la posibilidad de que ocurra un evento que altere el estado del sistema. Por otro lado, los arcos, representados por líneas rectas dirigidas, se utilizan para unir los estados con transiciones y viceversa (García, 2004).

En la figura 2 se muestra el sistema de la herramienta desarrollada mediante una Red de Petri y en las tablas 1 y 2 la descripción de los estados y transiciones, respectivamente.

Tabla 2: Descripción de los Estados de la Red de Petri, Parte 2

Estado	Descripción
L13	Muestra el menú que se despliega al hacer clic sobre ajustar sensibilidad, en el cual se pueden ajustar la sensibilidad del movimiento del cursor, del tamaño del cuadro rojo y de la rapidez del doble clic.
L14	Observa la bandera de validación que verifica si se culminó el proceso de calibración, al culminar el proceso de calibración la bandera se coloca en uno, en caso contrario en cero. Este estado se activa cuando se elige la opción de ajustar sensibilidad del movimiento del cursor.
L15	Observa la bandera de validación que verifica si se culminó el proceso de calibración, al culminar el proceso de calibración la bandera se coloca en uno, en caso contrario en cero. Este estado se activa cuando se elige la opción de ajustar el tamaño del cuadro rojo.
L16	Observa la bandera de validación que verifica si se culminó el proceso de calibración, al culminar el proceso de calibración la bandera se coloca en uno, en caso contrario en cero. Este estado se activa cuando se elige la opción de ajustar sensibilidad del doble clic.
L17	Incluir barra de graduación en la ventana llamada Tiempo Real, para ajustar la sensibilidad del movimiento del cursor.
L18	Incluir barra de graduación en la ventana llamada Tiempo Real, para ajustar el tamaño del cuadro rojo.
L19	Incluir barra de graduación en la ventana llamada Tiempo Real, para ajustar la sensibilidad del doble clic.
L20	Muestra una ventana de advertencia la cual indica que para poder activar la opción de ajustar sensibilidad del movimiento del cursor, tiene que haber culminado el proceso de calibración.
L21	Muestra una ventana de advertencia la cual indica que para activar la opción de ajustar el tamaño del cuadro rojo, tiene que haber culminado el proceso de calibración.
L22	Muestra una ventana de advertencia la cual indica que para activar la opción de ajustar sensibilidad del doble clic, tiene que haber culminado el proceso de calibración.

Tabla 3: Descripción de las Transiciones de la Red de Petri, Parte 1

Transición	Descripción
T1	Si presiona Iniciar.
T2	Si Capture == 0.
T3	Si Capture ≠ 0.
T4	Si presiona Aceptar.
T5	Si presiona cualquier tecla.
T6	Si presiona cualquier tecla.
T7	Si presiona cualquier tecla.
T8	Si se capturan imágenes similares a la almacenada en proceso de calibración de ojo cerrado, por un tiempo aproximado de un segundo.
T9	Si cruz verde que indica el centroide de la pupila no sale del cuadro rojo.
T10	Si cruz verde que indica el centroide de la pupila sale del cuadro rojo por el lado izquierdo.
T11	Si cruz verde que indica el centroide de la pupila sale del cuadro rojo por el lado derecho.
T12	Si cruz verde que indica el centroide de la pupila sale del cuadro rojo por el lado de arriba.
T13	Si cruz verde que indica el centroide de la pupila sale del cuadro rojo por el lado de abajo.
T14	Si se ejecutó el clic.
T15	Si el movimiento fue realizado.
T16	Si se ejecuta clic derecho sobre el icono de la aplicación que se encuentra en la barra de Windows.

6. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Se realizaron diversas pruebas para determinar que el sistema desarrollado es cómodo y permite con una interfaz amigable, que el usuario pueda interactuar sin complicaciones.

En el proceso de pruebas continuas realizadas a la herramienta se notó que la colocación de la gorra debía ser en un ángulo adecuado, de manera que las pestañas no bloqueen la zona del ojo, ya que esto influiría en el tratado de la imagen. Por lo tanto, se decidió que la colocación de la gorra al usuario debía hacerse de manera tal que la cámara junto con el ángulo de inclinación de la visera de la gorra, capte la zona de interés sin interrupción.

La herramienta fue probada con personas de ojos claros y ojos oscuros para observar si para cada caso, la misma funcionaba correctamente. De hecho el programa resultó funcionar correctamente en ambos casos. Sin embargo, se pudo apreciar que esto no ocurría cuando el usuario usaba maquillaje oscuro (color negro), ya que este fue realizado para detectar la zona más oscura de la imagen a tratar y se da el caso que el maquillaje oscuro hace que se resalte otra zona y por ende hace que el sistema no funcione correctamente. Dado ese hecho se decidió colocar como condición que para usar la herramienta, la persona no debe usar maquillaje oscuro.

En un inicio, el proceso de calibración se tornó muy tedioso ya que cada vez que se iniciara la herramienta, el usuario tenía que mirar a cada esquina de la pantalla para dibujar el recuadro que delimita la zona de movimiento. Debido a esto se decidió tomar solamente dos imágenes en el proceso de calibración (ojo abierto y ojo cerrado) y, por defecto, establecer los valores que dibujan dicho recuadro. Sin embargo, para hacer la herramienta más sensible a los diferentes usuarios y sus respectivos requisitos, se agregó la posibilidad de graduar esta región al gusto de cada usuario.

Adicionalmente, se decidió agregar la opción para que el usuario pudiese regular la velocidad del cursor. Esto tomando en cuenta las diferentes habilidades que pueden variar entre personas con capacidades reducidas. De esta manera, el proceso se puede hacer más lento o más rápido, de acuerdo a la comodidad de quien esté en disposición de usar la herramienta. Del mismo modo, se realizó una ventana de ajuste con la sensibilidad del doble clic, ya que dependiendo de la necesidad del usuario, este tendría que ejecutarse mas o menos rápido.

Tabla 4: Descripción de las Transiciones de la Red de Petri, Parte 2

Transición	Descripción
T17	Si presiona clic en cerrar aplicación.
T18	Si presiona clic en ajustar sensibilidad.
T19	Si presiona clic en ajustar sensibilidad del movimiento del cursor.
T20	Si presiona clic en ajustar el tamaño del cuadro rojo.
T21	Si presiona clic en ajustar sensibilidad del doble clic.
T22	Si bandera == 1.
T23	Si bandera == 0.
T24	Si bandera == 1.
T25	Si bandera == 0.
T26	Si bandera == 1.
T27	Si bandera == 0.
T28	Si se incluye la barra para ajustar sensibilidad del movimiento del cursor en la ventana llamada Tiempo Real.
T29	Si se incluye la barra para ajustar el tamaño del cuadro rojo en la ventana llamada Tiempo Real.
T30	Si se incluye la barra para ajustar sensibilidad del doble clic en la ventana llamada Tiempo Real.
T31	Si presiona Aceptar, regresa a la ventana de Bienvenida.
T32	Si presiona Aceptar, regresa a la ventana de Calibración ojo abierto.
T33	Si presiona Aceptar, regresa a la ventana de Calibración ojo cerrado.

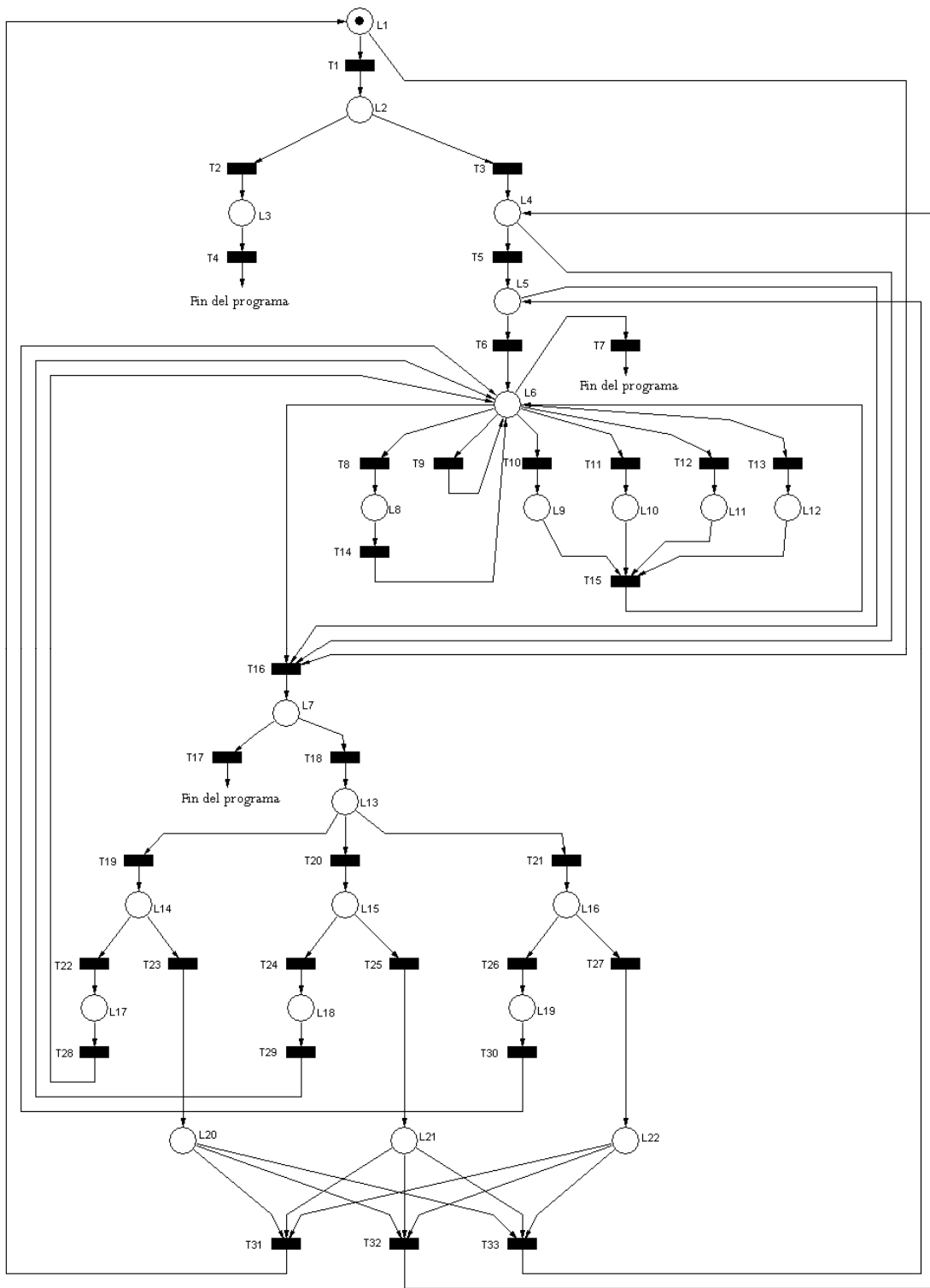


Figura 2: Representación del Algoritmo Mediante una Red de Petri

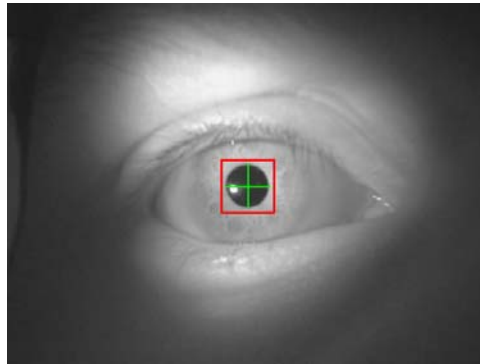


Figura 3: Cuadro Rojo que Delimita la Zona de Movimiento

7. FACTIBILIDAD ECONÓMICA DE LA HERRAMIENTA

El factor costo juega un papel importante en las aplicaciones similares existentes; por lo tanto, es fundamental verificar la rentabilidad que tiene el sistema desarrollado y enfatizar los beneficios que este trae consigo.

Uno de los objetivos del estudio de la factibilidad económica es estimar los costos asociados al desarrollo e implantación de la herramienta creada. Para esto, es esencial hacer énfasis en el hecho de que no se incluyen los gastos asociados al *hardware* y *software* básicos con el cual funciona dicha herramienta, debido a que esta inversión no ha de ser considerada. En este sentido, se hace una estimación del costo asociado a lo que es la creación del periférico visual alternativo, fundamentándose en que ya el interesado tiene como base una computadora personal con los requisitos mínimos establecidos, en cuanto a sus componentes y al sistema operativo instalado.

En este orden de ideas y tomando en cuenta los diferentes componentes necesarios para construcción del periférico alternativo, se llega a la conclusión de que tiene un costo aproximado de 200 bolívares fuertes. Resulta interesante hacer un análisis comparativo de esto respecto a otras herramientas previamente creadas con fines similares al de este proyecto. Para esto, se muestra en la tabla los costos mencionados. Es notorio el bajo costo que tiene la aplicación y, con esto, es indiscutible el gran potencial a réplica que tiene consigo el sistema desarrollado.

Tabla 5: Costos de Herramientas Similares

Herramienta	Costo
<i>Iriscom QG2</i>	6800 €
<i>Iriscomo QG3</i>	7800 €
<i>Eye Mouse</i>	2800 €
<i>Sistema I4Control</i>	1600 €
Nuevo periférico visual alternativo	200 Bs. F. \cong 71 €

8. CONCLUSIONES

La Visión Artificial es una rama de la ciencia muy completa y de gran importancia en el área de la tecnología, que se está utilizando con mucho éxito en diversas áreas.

El prototipo construido brinda la posibilidad de interactuar con el mundo a personas con capacidades reducidas y, con esto poder valerse por sí mismos, en la realización de algunas tareas. Cabe destacar que dichas personas se sentirán motivadas y las ayudará a elevar su autoestima y así su calidad de vida.

La fase de pruebas del sistema fue de gran importancia ya que permitió hacer cambios y mejoras para que el usuario final pueda hacer uso de la herramienta sin inconvenientes; además, hizo posible corroborar el logro de los objetivos propuestos.

El prototipo construido brinda a personas con capacidades reducidas la posibilidad de interactuar con el mundo exterior, con lo cual podrán valerse por sí mismos para realizar diversas tareas. En este sentido, la herramienta desarrollada permite mejorar la calidad de vida de dichas personas y, con esto, ayudar a motivarlas y elevar su autoestima.

El sistema desarrollado posee una gran rentabilidad económica, resultando mucho menos costoso que productos similares que se encuentran en el mercado en la actualidad. Esto permite afirmar que el proyecto tiene un gran potencial a réplica.

El desarrollo del proyecto fue un éxito ya que se lograron cumplir los objetivos planteados, finalizando satisfactoriamente la elaboración de la herramienta previamente planteada en el tiempo establecido.

9. RECOMENDACIONES

Ampliar la herramienta de manera que sirva para la ejecución de funciones adicionales que brinda un ratón tradicional para PC que no se contemplaron en la herramienta desarrollada. Entre éstas se encuentran: el clic derecho, selección de una región, mover y arrastrar, etc.

Modificar la herramienta de manera que una persona pueda realizar otras tareas como manejar una silla de rueda, prender la luz, el televisor, radio, etc.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación de Esclerosis Lateral Amiotrófica (2007), *Iriscom*. San Sebastián, España. [Documento WWW], recuperado: <http://www.iriscom.org/>

Bradski, G. y Kaehler, A. (2008), *Learning OpenCV*. Primera edición. Editorial O'Reilly Media, Inc. California, Estados Unidos.

Departamento de Cibernéticas (2004), *System I4Control*, Departamento de Cibernética, Facultad de Ingeniería Eléctrica. Universidad Técnica Checa. Praga, República Checa. [Documento WWW], recuperado: http://cyber.felk.cvut.cz/i4c/en_system.html

García, E. (2004), *Automatización de Procesos Industriales*. Alfa Omega. España.

Health System (2008), *La Medicina y la rehabilitación*. Universidad de Virginia, [Documento WWW], recuperado: http://www.healthsystem.virginia.edu/UVAHealth/adult_pmr_sp/spcrd.cfm

Turégano, E. (2006), 'EyeBoard: Un Periférico Alternativo Visual'. [Documento WWW], recuperado: <http://robolab.unex.es/research/doc/libro.pdf>

Tchalenko, J. (2000), *The Eye Mouse Project*. Camberwell College of Arts. Londres, Inglaterra. [Documento WWW], recuperado: <http://www.arts.ac.uk/research/eyemouse>

Autorización y Renuncia

Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en los procedimientos de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito