

# INVESTIGACIÓN

2009

**SISTEMA DE NAVEGACIÓN POR INTERNET  
BASADO EN ELECTROOCULOGRAFÍA PARA  
PERSONAS DISCAPACITADAS**

**FUNDACIÓN MAPFRE**

[www.fundacionmapfre.com](http://www.fundacionmapfre.com)

## Investigador Principal

**José María Azorín Poveda**

Dr. Ingeniero Informático.  
Profesor Universidad Miguel Hernández de Alicante

## Equipo Investigador

**Carlos Pérez Vidal.**

Dr. Ingeniero en Automática y Electrónica Industrial.  
Profesor Universidad Miguel Hernández de Alicante

**Eduardo Fernández Jover**

Dr. en Medicina y Cirugía.  
Profesor Universidad Miguel Hernández de Alicante

**José María Sabater Navarro.**

Dr. Ingeniero Industrial.  
Profesor Universidad Miguel Hernández de Alicante

**Nicolás Manuel García Aracil.**

Dr. Ingeniero Industrial.  
Profesor Universidad Miguel Hernández de Alicante

# Índice

	Página
1. VALORACIÓN DEL GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS	4
2. DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS REALIZADAS	4
2.1. T1. Definición de requerimientos del sistema	4
2.2. T2. Desarrollo del módulo de adquisición de señales EOG	5
2.3. T3. Procesamiento de las señales EOG	6
2.4. T4. Desarrollo del subsistema de control de escritura	7
2.5. T5. Desarrollo del subsistema de navegación por página web	9
2.6. T6. Integración de los dos subsistemas de control	10
2.7. T7. Pruebas experimentales	11
2.8. T8. Documentación del sistema	12
3. RESULTADOS	12
3.1. Resultados de las pruebas	12
3.2. Análisis y conclusiones	15

## 1. VALORACIÓN DEL GRADO DE CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

Tal y como se indicó en la solicitud del proyecto, el objetivo principal del mismo era desarrollar un sistema de navegación por Internet que fuera controlado únicamente utilizando el movimiento ocular. Para ello se planteó el desarrollo de una interfaz hombre-ordenador basada en electrooculografía (EOG). Esta interfaz debía registrar las señales EOG asociadas al movimiento ocular y, mediante un algoritmo de procesamiento, detectar la dirección de la mirada y traducirla en comandos específicos para el navegador de Internet. Para alcanzar este objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar un módulo de adquisición de señales EOG con la finalidad de registrar las señales EOG en un computador mediante electrodos superficiales colocados alrededor de la zona ocular.
- Implementar un módulo de procesamiento de señales EOG que permita extraer las características más relevantes de las señales EOG con la finalidad de realizar su correcta clasificación y, de este modo, detectar el movimiento de los ojos realizado por la persona.
- Desarrollar un sistema de control del navegador compuesto por un subsistema de control de escritura (para permitir escribir una dirección web en el navegador), y un subsistema de navegación por página web (para permitir al usuario seleccionar un hipervínculo para ir a otra página, bajar o subir página, ir a la página anterior...).
- Validar el funcionamiento del sistema de navegación basado en electrooculografía con diferentes voluntarios.

Tras la realización del proyecto, todos los objetivos específicos planteados en la solicitud del proyecto han sido totalmente alcanzados. Esto ha sido posible al haberse realizado todas las tareas planificadas en el proyecto de forma exitosa. Por tanto, **el grado de cumplimiento de los objetivos del proyecto ha sido totalmente satisfactorio**, lográndose el objetivo principal de desarrollar un sistema de navegación por Internet a partir de señales electrooculográficas.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TAREAS REALIZADAS

En la solicitud del proyecto se planificó la realización de 8 tareas (T1-T8) con la finalidad de alcanzar de forma satisfactoria el objetivo principal del proyecto. A continuación se va a detallar cada una de las tareas realizadas.

### 2.1. T1. Definición de requerimientos del sistema

En esta tarea se han especificado los requerimientos del sistema de navegación, indicándose las funcionalidades del navegador que son controladas mediante el movi-

miento ocular. Asimismo se han seleccionado los dispositivos hardware y el software que va a utilizarse en el desarrollo del proyecto.

El sistema de navegación permite realizar las siguientes acciones utilizando el movimiento ocular:

- Escribir direcciones web (URLs) para acceder a una página de Internet concreta.
- Navegar por páginas web a través de los enlaces (vínculos o hiperenlaces).
- Pulsar sobre botones.
- Navegación automática entre elementos web cercanos: enlaces, cuadros de texto, imágenes,...
- Rellenar campos de texto.
- Seleccionar opciones de listas desplegadas.
- Activar cajas de opciones o botones de radio.
- Volver a la página anterior o ir a la página siguiente.
- Avanzar y retroceder a lo largo de la página.

Los dispositivos hardware utilizados en el proyecto son los siguientes:

- **Electrodos:** Se han empleado 5 electrodos del modelo E273 de Easycap para registrar las señales EOG. Se trata de electrodos planos de 12 mm de diámetro con un cable ligero y que no requieren gel conductivo para funcionar, empleándose únicamente un poco de gel abrasivo limpiador antes de su colocación, que es mucho más rápido y fácil que con electrodos convencionales. El electrodo de tierra es una pinza recubierta de oro acoplada al lóbulo de la oreja. En la figura 1 se muestran los electrodos empleados.

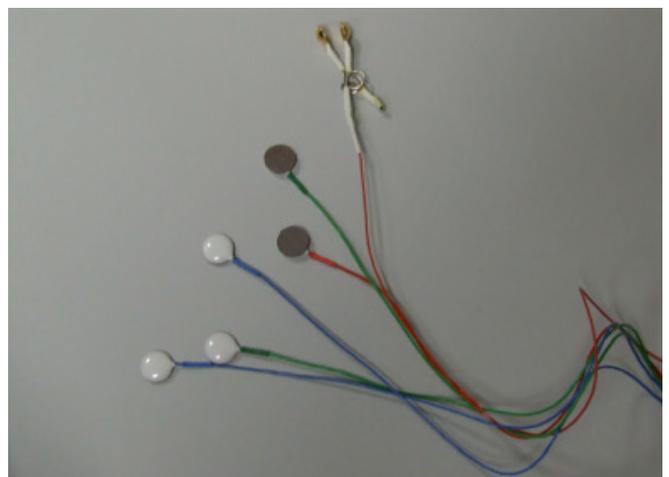


Figura 1. Electrodo utilizado.

- **Amplificador g.USBamp de g.tec:** Como sistema de amplificación y filtrado se utiliza este dispositivo, que dispone de 16 canales, de los que se emplearán 4 más la referencia y la tierra. El amplificador dispone de filtros predefinidos que permiten eliminar el ruido para obtener una señal adecuada. El equipo se conecta a través de USB a un ordenador y es completamente portable. En la figura 2 se muestra el equipo g.USBamp empleado.



Figura 2. Equipo g.USBamp utilizado.

- **Ordenador:** Se utiliza un ordenador con sistema operativo Windows XP. Hay que tener en cuenta que es necesario un ordenador lo suficientemente rápido para poder trabajar en tiempo real con las señales y realizar todo el procesamiento necesario en cada intervalo de tiempo, por lo que al menos el ordenador debe ser un Intel Core Duo a 2.66 GHz con 2 GB de RAM.

Por otra parte, todo el software del proyecto se ha desarrollado utilizando Matlab. Para la adquisición y procesamiento de las señales EOG se ha empleado la interfaz de programación de aplicaciones (API) proporcionada por el dispositivo g.USBamp. Esta API incluye además las opciones de filtrado y de frecuencia de muestreo del dispositivo.

## 2.2. T2. Desarrollo del módulo de adquisición de señales EOG

En esta tarea se ha desarrollado la arquitectura hardware y software para adquirir las señales EOG en el ordenador.

La arquitectura hardware del sistema de adquisición se compone de los equipos seleccionados en la tarea T1. En la figura 3 se muestra la arquitectura hardware del sistema de navegación.

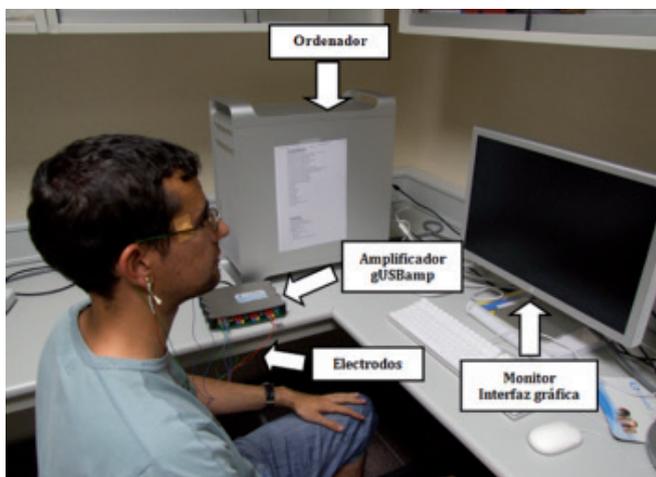


Figura 3. Arquitectura hardware del sistema de navegación.

Para registrar las señales EOG se han utilizado 6 electrodos que se colocan sobre la superficie de la cara de la persona: 4 para detectar el movimiento horizontal y vertical de los ojos (2 para cada movimiento), 1 para la referencia y 1 para la tierra (GND). En la figura 4 se muestra la disposición de los electrodos.

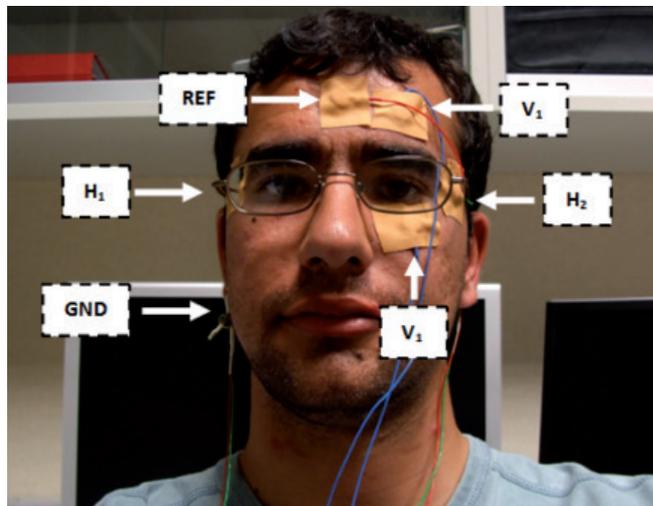


Figura 4. Posición de los electrodos.

Para adquirir las señales EOG en el ordenador se utiliza el equipo g.USBamp de g.tec. La configuración utilizada en el equipo es la siguiente:

- Frecuencia de muestro (fm): 128 Hz
- Nº de Canales: 4
- Número de canales bipolares: 2 (Se resta el canal 1 con el 2 para obtener la señal horizontal y el canal 3 con el 4 para obtener la señal vertical).
- Filtro Paso Banda: 0.1-30 Hz
- Filtro Notch: 48-52 Hz (elimina la interferencia de la red eléctrica).

A nivel software, las señales EOG son adquiridas utilizando Matlab. Se generan dos vectores de entrada, uno para el movimiento horizontal y otro para el vertical. Cada uno de ellos se procesa por separado utilizando el algoritmo de procesamiento desarrollado en la tarea T3. Para ello, se establece una ventana de procesamiento de 1 segundo, lo que corresponde a 128 muestras (la frecuencia de muestreo). En la figura 5 se muestra un ejemplo de las señales obtenidas con el software de adquisición para el canal horizontal y vertical.

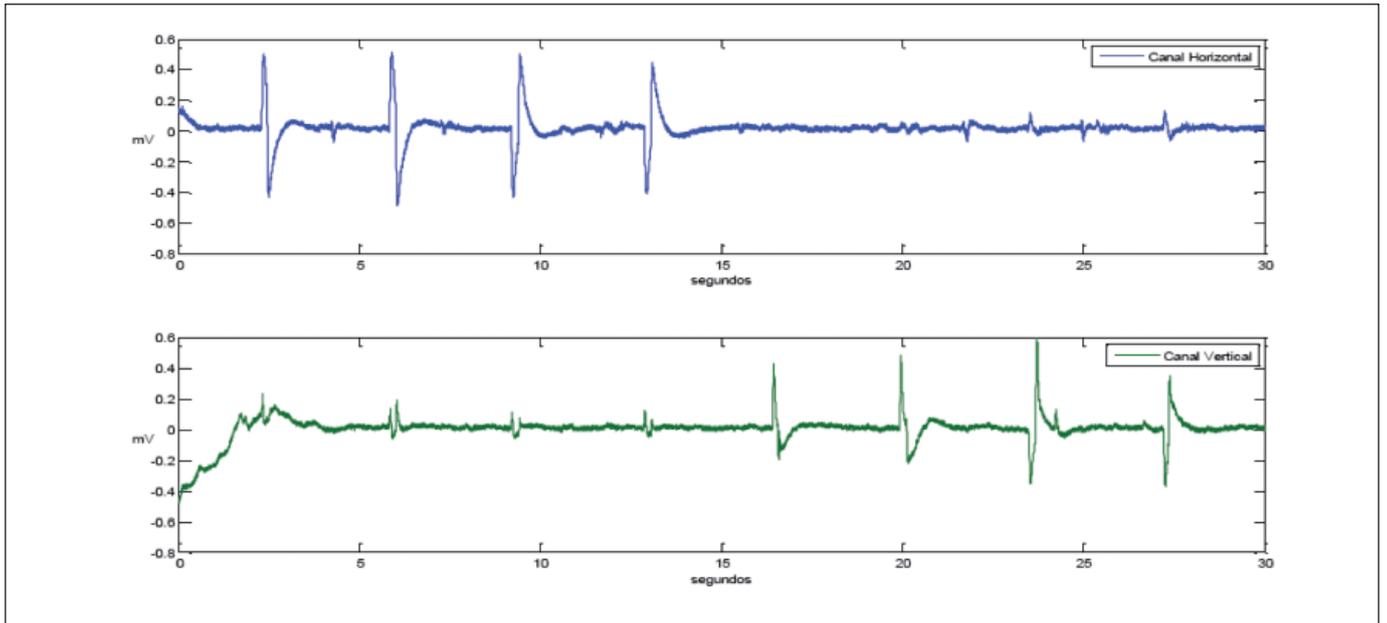


Figura 5. Señales EOG para el canal horizontal y vertical.

### 2.3. T3. Procesamiento de las señales EOG

En esta tarea se ha desarrollado un algoritmo que permite determinar el movimiento de ojos realizado por una persona a partir de las señales EOG registradas.

Para detectar el movimiento del ojo a partir de las señales EOG se ha tenido en cuenta que el ojo actúa como un dipolo eléctrico entre el potencial positivo de la córnea y el potencial negativo de la retina. En condiciones normales, la retina tiene un potencial bioeléctrico negativo en relación a la córnea. Por esta razón, las rotaciones del globo ocular causan cambios de dirección en el vector correspondiente a este dipolo eléctrico, ver Figura 6. El valor de la señal EOG varía entre 50 y 3500  $\mu\text{V}$  con un rango de frecuencia en continua de unos 100 Hz entre la córnea y la membrana de Bruch situada en la parte trasera del ojo. El comportamiento es prácticamente lineal para ángulos máximos de  $50^\circ$  en horizontal y  $30^\circ$  en vertical, ver Figura 7.

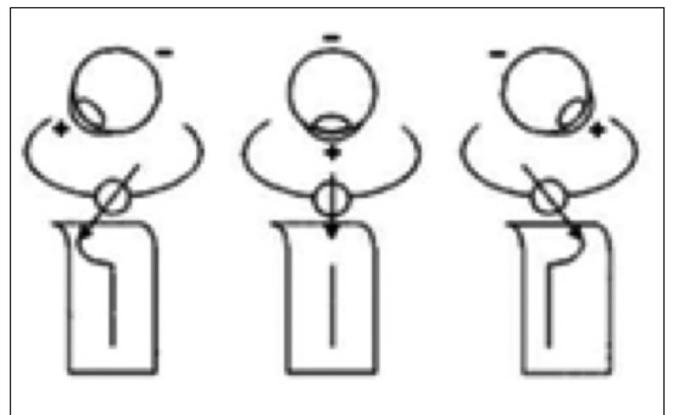


Figura 6. Dipolo ocular.

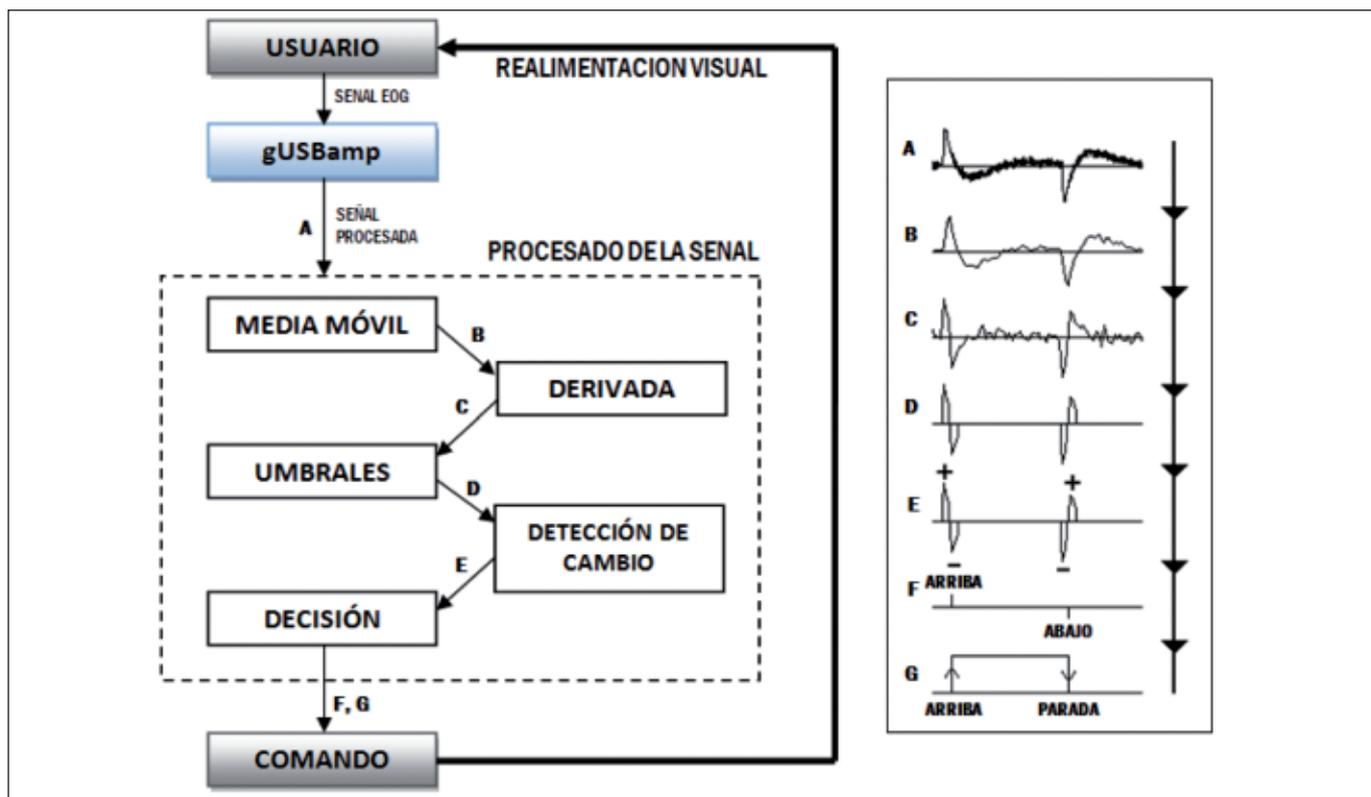


Figura 8. Algoritmo de procesamiento de señales EOG.

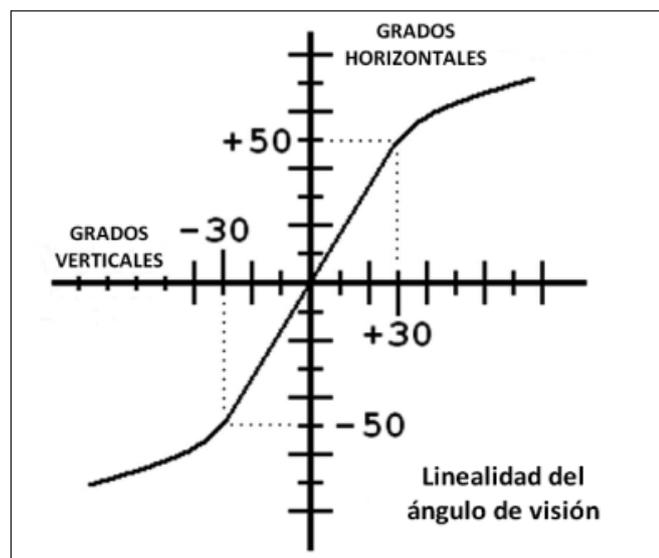


Figura 7. Relación voltaje/ángulo.

El algoritmo desarrollado permite detectar los 4 posibles movimientos de ojos: arriba, abajo, derecha e izquierda. Para generar el movimiento deseado, la persona debe realizar un movimiento rápido de sus ojos en la dirección deseada y después volver sus ojos al centro o posición de reposo.

Como se ha indicado en la tarea T2, cada vector de entrada, el correspondiente al movimiento horizontal y el

del movimiento vertical, se procesa por separado utilizando una ventana de procesamiento de 1 segundo (128 muestras). Cada ventana es procesada obteniéndose una decisión: izquierda, derecha o reposo, en el movimiento horizontal, y arriba, abajo o reposo, en el movimiento vertical. Si se obtienen dos movimientos en la misma ventana (por ejemplo arriba y derecha), la orden saliente es reposo. En la gran mayoría de los casos se detecta un movimiento en un solo canal y es ésta la decisión que se selecciona. De este modo, se eliminan los posibles errores de detección.

Para detectar el movimiento realizado, se ha desarrollado en Matlab el algoritmo de procesamiento de señales EOG mostrado en la figura 8 que consta de las siguientes fases:

1. Las señales EOG se adquieren del equipo g.USBamp.
2. Se calcula la media móvil para eliminar el ruido y obtener una señal clara.
3. Se calcula la derivada para detectar el cambio en la dirección de los ojos. Si la persona mira en una dirección determinada, la señal cambia abruptamente. A este cambio rápido le sigue una caída lenta que es detectable por la derivada, generando un valor alto (positivo o negativo) en el momento en el que ocurre.
4. Se usa un umbral para distinguir la detección del movimiento frente al ruido o la señal obtenida cuando no hay movimiento de los ojos. Este umbral puede ser diferente para los canales horizontal y vertical y depende del usuario.

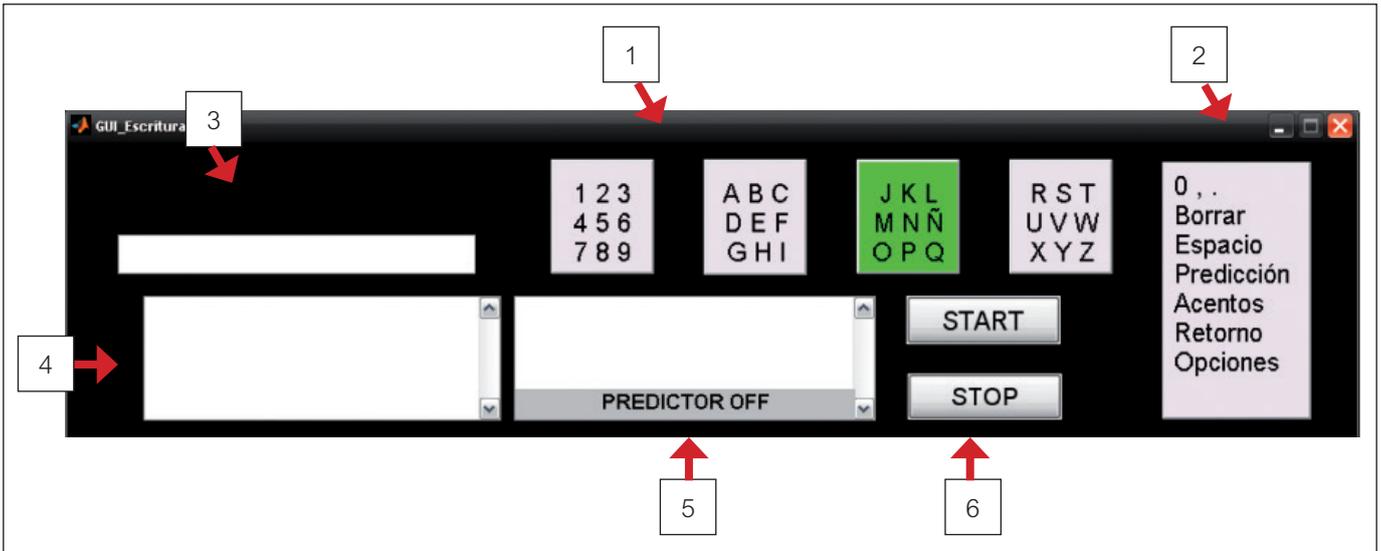


Figura 9. Aspecto de la interfaz de escritura.

5. Se buscan los máximos y los mínimos con el fin de saber la dirección del movimiento ocular. En este caso se buscan secuencias max/min y min/max.
6. Finalmente, se calcula la dirección en la que se ha mirado. El comando proporcionado por el algoritmo corresponderá a uno de los 4 posibles movimientos de los ojos: arriba, abajo, izquierda o derecha; o a reposo.

En la parte derecha de la figura 8 se muestra un ejemplo del resultado de aplicar las diferentes fases del algoritmo sobre una señal EOG.

**2.4. T4. Desarrollo del subsistema de control de escritura**

En esta tarea se ha desarrollado una interfaz de escritura utilizando Matlab, que permite al usuario introducir direc-

ciones web o palabras en campos de texto empleando el movimiento de los ojos. Concretamente, esta interfaz permite:

- Escribir textos.
- Añadir en el texto números, caracteres especiales, acentos, diéresis y espacios.
- Reducir el número de movimientos oculares necesarios para escribir una palabra al incorporar un predictor de palabras.
- Borrar y manipular los textos escritos mediante un cursor de retorno.
- Deshacer la última tarea realizada.
- Cargar textos almacenados previamente, así como guardar textos escritos con la interfaz.

La interfaz se compone de los siguientes campos (Figura 9):

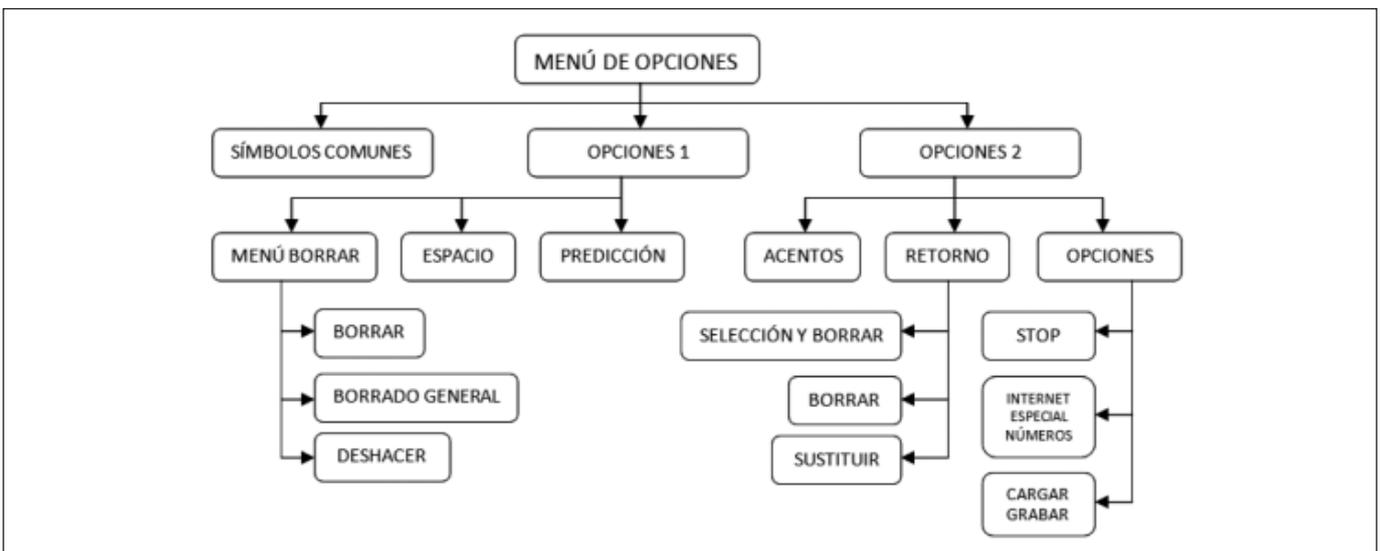


Figura 10. Opciones de la interfaz de escritura.

1. **Botones de escritura:** permiten escribir 27 letras de abecedario y 9 números.

2. **Botón de opciones:** permite realizar diferentes operaciones sobre el texto: introducir espacios, realizar borrados, introducir acentos o introducir caracteres especiales. Además, permite introducir las palabras obtenidas mediante el predictor, guardar y cargar textos o salir de la interfaz. Todas estas opciones se despliegan en los botones de escritura una vez seleccionado el botón de opciones (ver Figura 10).

3. **Texto abreviado:** muestra los caracteres que se están escribiendo.

4. **Texto extendido:** muestra todo lo que se ha escrito desde el inicio de la interfaz de escritura.

5. **Predictor:** muestra una lista de palabras obtenidas mediante el predictor entre las palabras más comunes de la lengua castellana. Esta lista se muestra a partir de la introducción del tercer carácter. Para acceder a ella es necesario ejecutar la opción predicción dentro del botón de opciones. La etiqueta 'PREDICTOR OFF' gris se vuelve verde y muestra 'PREDICTOR ON'. A partir de ese momento el usuario puede elegir una de las palabras de la lista moviéndose de arriba abajo y seleccionándola con un movimiento a la derecha. El movimiento a la izquierda cancela la opción.

El predictor se basa en un algoritmo probabilístico de predicción que se adapta a las propiedades del programa, contando con un diccionario fijo de 120.000 palabras en castellano. Para establecer la prioridad de las distintas palabras se ha empleado una biblioteca de 500 libros obteniéndose el valor frecuencial de cada una de las palabras. De este modo, el algoritmo es capaz de predecir las palabras más comunes de la lengua española a partir de las primeras tres letras escritas en la interfaz.

6. **Botones de puesta en marcha:** estos botones inician y detienen la comunicación con el amplificador g. USBamp.

Para escribir los distintos caracteres o seleccionar las distintas opciones, el usuario se mueve a través de los

botones de escritura y el botón de opciones. Se marca en verde el lugar en el que se encuentra (Figura 9). Por ejemplo, para escribir la letra "A", es necesario realizar los movimientos descritos en la Figura 11. El cursor verde irá moviéndose en función de las acciones realizadas. Cuando se desea entrar en un submenú el usuario debe parpadear. Una vez seleccionada la letra o la opción, la interfaz recupera su aspecto inicial (Figura 9).

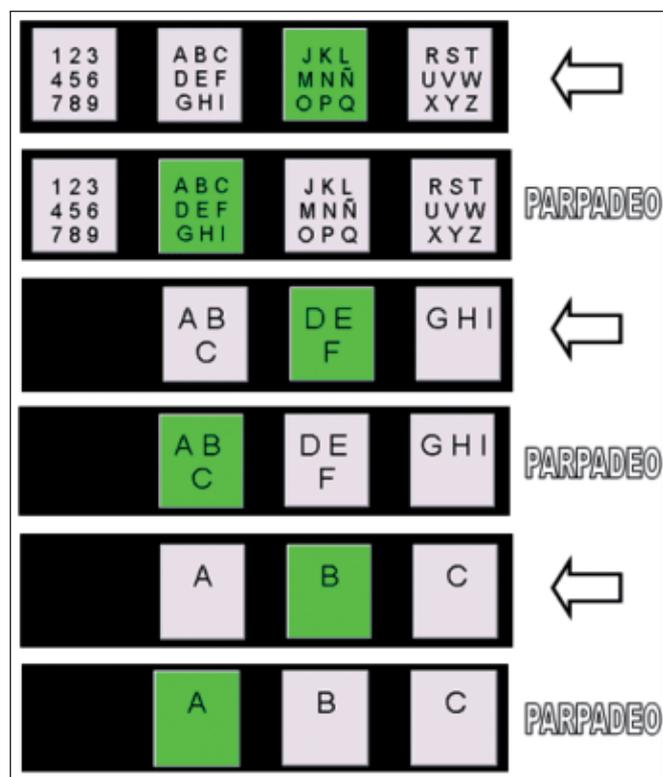


Figura 11. Ejemplo de selección (Letra A).

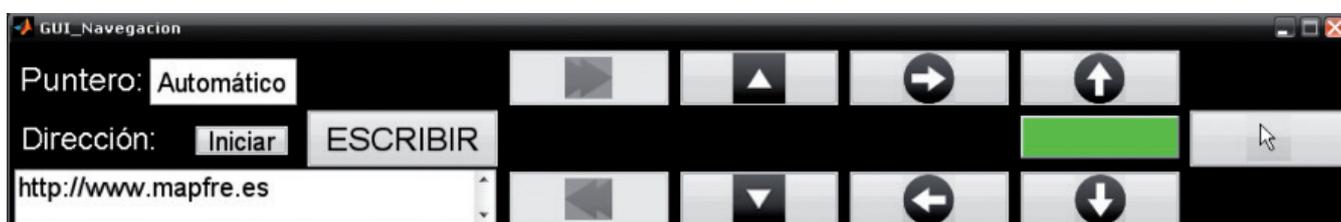


Figura 12. Alnterfaz de navegación: control automático..

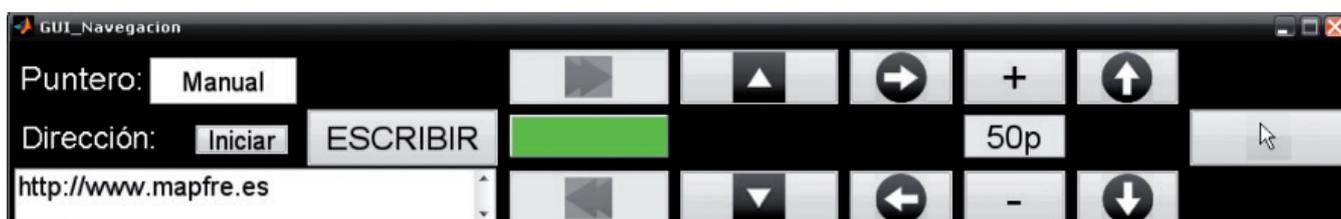


Figura 13. Alnterfaz de navegación: control manual..



Figura 14. Aspecto de la aplicación (a pantalla completa).

## 2.5. T5. Desarrollo del subsistema de navegación por página web

En esta tarea se ha desarrollado, utilizando Matlab, una interfaz que permite la navegación por una página web utilizando únicamente señales electrooculográficas. Concretamente, esta interfaz permite:

- Navegar por páginas web a través de los enlaces.
- Pulsar botones.
- Mover el ratón hacia arriba, abajo, derecha o izquierda.
- Interactuar con hipervínculos.
- Seleccionar opciones de listas desplegables.
- Activar cajas de opciones o botones de radio.

Se han desarrollado 2 modos de control del ratón para moverse dentro de una página web: un modo automático y otro modo manual.

- En el modo automático, el usuario controla el ratón con órdenes básicas: izquierda, derecha, arriba y abajo; y la interfaz se encarga de detectar cual es el elemento activable (hipervínculo, caja de texto, etc) más cercano a la posición actual del puntero. Para ello, se obtiene la información de la página y

se hace un barrido de todos los elementos interactivos de 10 en 10 píxeles.

- En modo manual, el rango de movimiento del ratón puede ser definido por el usuario con una precisión de 10 píxeles. Inicialmente, el rango de movimiento se fija en 50 píxeles. Este modo permite un movimiento totalmente libre por la página web.

La estructura de la interfaz de navegación se muestra en la Figura 12 (modo automático) y Figura 13 (modo manual). Como se puede observar en la Figura 13, el único cambio que se produce al cambiar al modo de movimiento manual es la aparición de dos botones (+ y -) que permiten aumentar y disminuir el número de píxeles que se desea mover el ratón.

Para navegar por la página web, el usuario controla el movimiento a izquierda o derecha mediante movimientos oculares horizontales del cursor verde (Figuras 12 y 13), pudiéndose elegir cada una de las opciones disponibles (arriba o abajo) realizando movimientos oculares verticales. De izquierda a derecha las opciones de exploración web que aparecen en la interfaz son:



Figura 15. Aspecto de la aplicación (a pantalla completa) tras la integración de ambas interfaces.

1. **Volver a la página anterior o posterior:** permite moverse a la página anterior o posterior que ya se ha visualizado.
2. **Subir y bajar página:** permite moverse a lo largo de la página en dirección vertical.
3. **Mover derecha o izquierda:** el ratón se mueve al elemento horizontal más cercano (modo automático) o los píxeles seleccionados (modo manual).
4. **Aumentar o disminuir rango (sólo en menú manual):** permite cambiar la distancia en píxeles que se desea mover el ratón.
5. **Mover arriba o abajo:** el ratón se mueve al elemento vertical más cercano (modo automático) o los píxeles seleccionados (modo manual).

El aspecto final de la interfaz de navegación en la propia ventana de navegación donde se visualiza la página web se muestra en la Figura 14.

## 2.6. T6. Integración de los dos subsistemas de control

En esta tarea se ha integrado el subsistema de control de escritura y el subsistema de control de navegación por página web en el sistema de navegación por Internet, de

forma que el usuario puede consultar las páginas web deseadas utilizando su movimiento ocular.

La integración de ambas interfaces permite acceder a la interfaz de navegación a partir de la interfaz de escritura y escribir palabras o frases en cuadros de texto, cambiar el modo de movimiento del ratón (manual o automático) y salir de la aplicación.

Al iniciar la aplicación, se inicia solamente la interfaz de escritura. En el menú de opciones se debe acceder a la opción "Internet" para ejecutar la interfaz de navegación, que muestra Google como página web predefinida. Tras este primer paso ya es posible acceder de nuevo a la interfaz de escritura, o bien a partir del botón ESCRIBIR en la parte superior izquierda de la interfaz de navegación, o bien pinchando sobre cualquier caja de texto, donde es posible escribir una palabra o frase.

El aspecto de ambas interfaces integradas puede verse en la Figura 15.

## 2.7. T7. Pruebas experimentales

En esta tarea se ha validado el sistema de navegación por Internet basado en electrooculografía con diferentes voluntarios. Para ello se han realizado diferentes pruebas en las que se ha analizado la facilidad de uso del sistema, así como la adaptación del usuario al sistema.

Para la realización de las pruebas experimentales se ha seguido el siguiente protocolo:

1. **Preparación del equipo:** Consiste en la conexión de todos los equipos y la comprobación del funcionamiento correcto del sistema. Además, se preparan todos los materiales necesarios para la colocación y fijación de los electrodos.
2. **Preparación del usuario:** Consiste en la colocación de los electrodos en la cara del usuario. En primer lugar, se limpia la cara con un gel limpiador y después se colocan los electrodos de acuerdo a la Figura 4.
3. **Entrenamiento del usuario:** Se realiza la calibración de los umbrales para cada usuario. Este test consiste en dos pruebas por canal en las que el usuario debe realizar movimientos verticales y horizontales en función de lo que se le especifique. Los resultados se representan estableciéndose cuáles son los umbrales específicos del usuario tanto para el canal horizontal como el vertical.
4. **Pruebas experimentales:** Consiste en la realización de las pruebas propiamente dichas. Se van a llevar a cabo dos tipos de pruebas distintas: una

prueba de búsqueda utilizando la interfaz de navegación y una prueba de movimiento de ratón.

En total, 6 voluntarios han realizado las pruebas previo consentimiento escrito y habiendo sido informados debidamente del procedimientos y las condiciones de las pruebas. Los voluntarios han sido 2 mujeres y 4 hombres de edades comprendidas entre los 24 y los 32 años.

Como se ha comentado, las pruebas experimentales consisten en la realización de una serie de búsquedas en Google (prueba 1) y en la evaluación del movimiento del ratón dentro del navegador (prueba 2). Cada una de las pruebas se realizará tres veces por usuario.

- La prueba 1 (Prueba de búsqueda) consiste en realizar búsquedas mediante un motor de búsqueda interaccionando con todos los elementos de la interfaz (tanto de navegación como de escritura). En esta prueba se utiliza el control automático del ratón. Los pasos que debe seguir el usuario son los siguientes:

1. Una vez iniciada la aplicación (aparece la interfaz de escritura), acceder a la interfaz de navegación web (se cargará el motor de búsqueda Google de forma predeterminada).
2. Acceder al cuadro de búsqueda, introducir "MAPFRE", buscar la página y entrar en la página principal: [www.mapfre.com](http://www.mapfre.com).
3. Desde la página de MAPFRE, retornar a la página anterior y acceder al apartado de noticias de Google.

Tabla 1. Resultados del usuario 1.

Acción	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
1. Abrir la interfaz de navegación	49	60	42
2. Introducir MAPFRE y cargar la página	494	290	434
3. Volver atrás y seleccionar NOTICIAS	120	138	91
4. Introducir NOTICIAS ELCHE	373	417	241
5. Salir de la aplicación	20	125	118
TOTAL	1056	1030	926
6. Movimiento del ratón	113	107	95

Tabla 2. Resultados del usuario 2.

Acción	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
1. Abrir la interfaz de navegación	60	56	33
2. Introducir MAPFRE y cargar la página	470	456	494
3. Volver atrás y seleccionar NOTICIAS	80	109	88
4. Introducir NOTICIAS ELCHE	360	367	273
5. Salir de la aplicación	73	135	85
TOTAL	1043	1123	1086
6. Movimiento del ratón	75	76	113

**Tabla 3.** Resultados del usuario 3.

Acción	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
1. Abrir la interfaz de navegación	56	28	50
2. Introducir MAPFRE y cargar la página	424	462	491
3. Volver atrás y seleccionar NOTICIAS	107	41	72
4. Introducir NOTICIAS ELCHE	330	480	374
5. Salir de la aplicación	77	54	66
<b>TOTAL</b>	<b>994</b>	<b>1065</b>	<b>1053</b>
6. Movimiento del ratón	62	57	85

**Tabla 4.** Resultados del usuario 4.

Acción	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
1. Abrir la interfaz de navegación	68	35	36
2. Introducir MAPFRE y cargar la página	360	321	390
3. Volver atrás y seleccionar NOTICIAS	195	73	91
4. Introducir NOTICIAS ELCHE	298	452	258
5. Salir de la aplicación	55	72	59
<b>TOTAL</b>	<b>1081</b>	<b>1030</b>	<b>935</b>
6. Movimiento del ratón	105	77	101

**Tabla 5.** Resultados del usuario 5.

Acción	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
1. Abrir la interfaz de navegación	31	59	44
2. Introducir MAPFRE y cargar la página	528	315	380
3. Volver atrás y seleccionar NOTICIAS	220	96	106
4. Introducir NOTICIAS ELCHE	241	251	236
5. Salir de la aplicación	49	52	76
<b>TOTAL</b>	<b>1073</b>	<b>773</b>	<b>842</b>
6. Movimiento del ratón	160	62	100

**Tabla 6.** Resultados del usuario 6.

Acción	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3
1. Abrir la interfaz de navegación	34	31	42
2. Introducir MAPFRE y cargar la página	469	408	432
3. Volver atrás y seleccionar NOTICIAS	87	93	74
4. Introducir NOTICIAS ELCHE	296	455	343
5. Salir de la aplicación	57	46	75
<b>TOTAL</b>	<b>943</b>	<b>1033</b>	<b>966</b>
6. Movimiento del ratón	158	170	187

4. Introducir "NOTICIAS ELCHE" en el cuadro de búsqueda y presionar el botón "buscar".
5. Por último, salir de la aplicación a través del menú de escritura.
  - La prueba 2 (Prueba de movimiento) consiste en realizar una serie de movimientos con el ratón dentro de la página principal para evaluar la velocidad

de los mismos. Para ello, se ha predefinido una distancia estándar que el usuario debe recorrer tres veces. Esta prueba se realiza utilizando el control manual del ratón, que permite seleccionar el número de píxeles y la dirección en la que se quiere mover en pantalla.

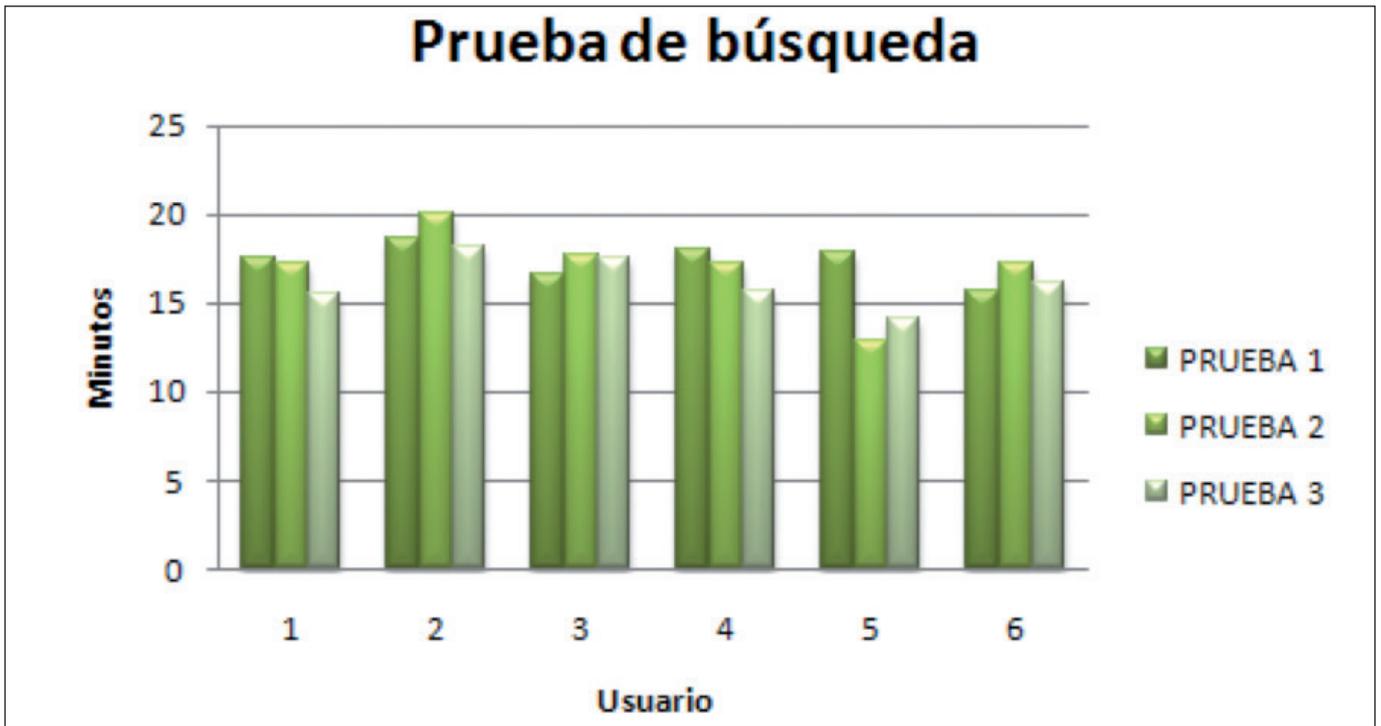


Figura 16. Resultados globales de la prueba de búsqueda.

Para ambas pruebas, se medirán los tiempos empleados por cada voluntario. En el apartado de resultados se muestran estos tiempos, junto a una serie de gráficas

comparativas para estudiar el efecto del entrenamiento con la interfaz.

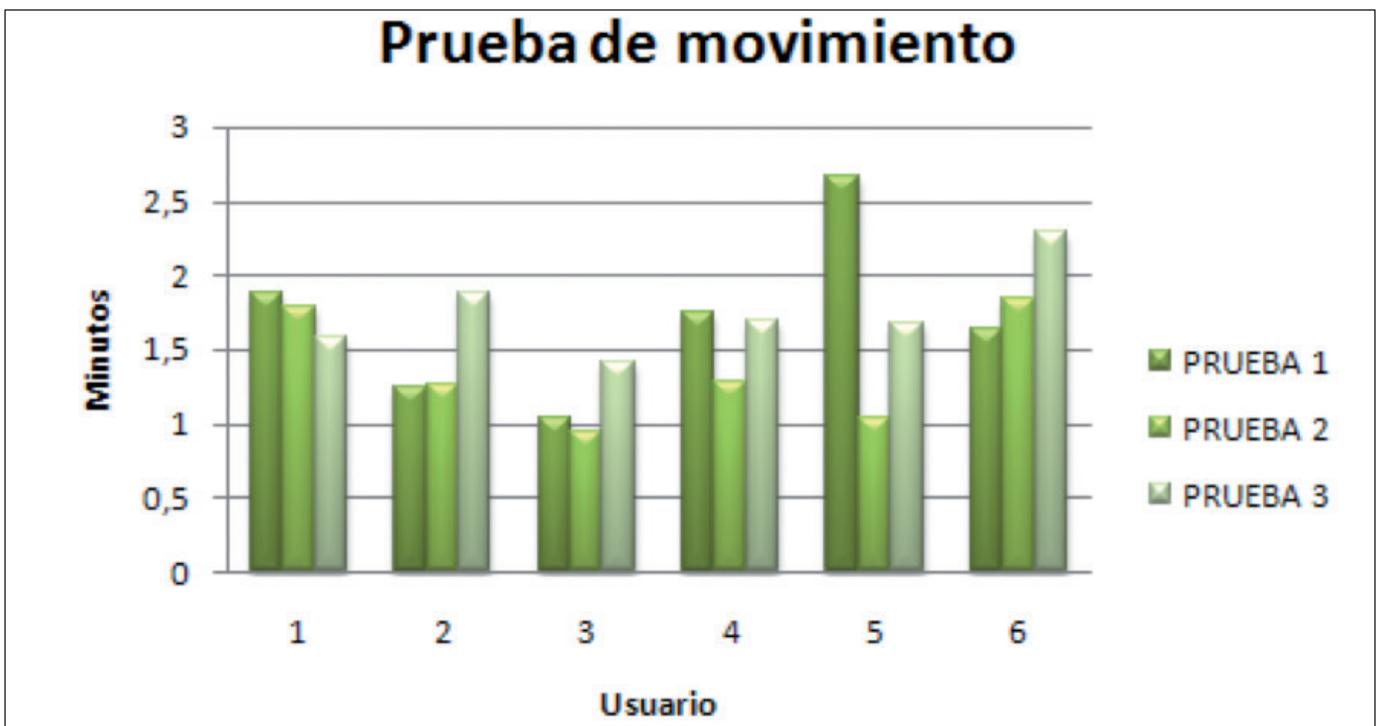


Figura 16. Resultados globales de la prueba de búsqueda.

## 2.8. T8. Documentación del sistema

En esta tarea se ha documentado de forma completa todos los desarrollos realizados a lo largo del proyecto, con la finalidad de posibilitar el posterior uso del sistema, así como la realización de futuras investigaciones.

## 3. RESULTADOS

En este apartado se van a mostrar los resultados obtenidos tras la realización de las pruebas experimentales con el sistema. Se van a presentar los tiempos medidos para la realización de las pruebas especificadas en la Tarea 7 para cada uno de los 6 usuarios. Posteriormente se comparará la evolución de las tareas a lo largo del tiempo para estudiar el efecto del entrenamiento en la realización de las pruebas.

### 3.1. Resultados de las pruebas

Como se ha indicado en la Tarea 7, se han realizado dos pruebas. La primera prueba consiste en realizar una serie de acciones de búsqueda en el navegador web (acciones 1 a 5). La segunda prueba consiste en comprobar el funcionamiento del movimiento del ratón en modo manual (acción 6). Los resultados de tiempo en segundos obtenidos para cada uno de los 6 usuarios se muestran en las Tablas 1-6.

Como se puede observar, se especifican los tiempos de las cinco primeras acciones y a continuación se muestra la suma total de tiempos, con lo que se obtiene el tiempo total para la primera prueba de búsqueda. Para la sexta acción únicamente se muestra el tiempo de cada movimiento de ratón que corresponde al tiempo total de la segunda prueba de movimiento.

A continuación se muestra una gráfica con la evolución de los usuarios en la realización de la prueba de

búsqueda (Figura 16). En el eje vertical se muestran los minutos totales de la prueba y en el eje horizontal se muestra el número de usuario, cada uno de los cuales ha realizado tres pruebas.

La siguiente gráfica (Figura 17) muestra los resultados obtenidos para la prueba de movimiento. Del mismo modo, en el eje vertical se muestran los minutos totales de la prueba y en el eje horizontal se muestra el número de usuario, cada uno de los cuales ha realizado tres pruebas.

### 3.2. Análisis y conclusiones

A la vista de los resultados, se puede concluir que la interfaz ocular diseñada permite utilizar el sistema de navegación de forma efectiva.

En la prueba de búsqueda, todos los usuarios lograron terminar las acciones requeridas en un tiempo menor a 19 minutos y mayor a 13 minutos, en función de su adaptación al sistema. En el caso de los usuarios 1, 2, 4 y 5, se produce una mejora con la práctica. Para los usuarios 3 y 6, el tiempo en cada prueba se mantiene aproximadamente constante.

En la prueba de movimiento, a pesar de que la distancia definida para todos los usuarios es constante, éstos podían elegir el número de píxeles que se desplaza el ratón cada vez que se realiza un desplazamiento, así como la dirección. Por ello, los resultados son más variables en función de las elecciones del usuario. No obstante, salvo en algún caso (usuarios 5 y 6), los movimientos a lo largo de la pantalla se realizaron en menos de 2 minutos.

Los resultados obtenidos permiten concluir que los objetivos planteados en este proyecto se han cumplido de forma satisfactoria, habiéndose desarrollado un sistema que permita la navegación a través de Internet utilizando únicamente el movimiento ocular de la persona.

#### Conflicto de intereses

Los autores hemos recibido ayuda económica de FUNDACIÓN MAPFRE para la realización de este proyecto. No hemos firmado ningún acuerdo por el que vayamos a recibir beneficios u honorarios por parte de alguna entidad comercial o de FUNDACIÓN MAPFRE.