

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

---

# INFLUENCIA DE LA FATIGA EN LA AGUDEZA VISUAL DINÁMICA Y FRECUENCIA CRÍTICA DE FUSIÓN EN UN GRUPO DE MOTORISTAS DE ÉLITE PARTICIPANTES DE UNA PRUEBA DE RESISTENCIA DE 24 HORAS

---



---

**AUTOR**  
FRANCISCO JAVIER VIVÓ SÁNCHEZ

**DIRECTORA**  
PROF. DRA. LLUÏSA QUEVEDO I JUNYENT

**Departament d'Òptica i Optometria de la Universitat Politècnica de Catalunya.**  
**Màster en Optometria i Ciències de la Visió.**

Terrassa 29 de Junio del 2009.

## DATOS DEL TRABAJO

### TÍTULO DEL TRABAJO:

**“INFLUENCIA DE LA FATIGA EN LA AGUDEZA VISUAL  
DINÁMICA Y FRECUENCIA CRÍTICA DE FUSIÓN EN UN  
GRUPO DE MOTORISTAS DE ÉLITE PARTICIPANTES  
DE UNA PRUEBA DE RESISTENCIA DE 24 HORAS”**

Autor:

Francisco Javier Vivó Sánchez.

Directora del trabajo:

Dra. Lluïsa Quevedo i Junyent. D.O.O. Departament d'Òptica i Optometria de la  
Universitat Politècnica de Catalunya.

## Resumen

---

La conducción deportiva requiere de unas óptimas capacidades perceptivomotoras. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto que produce la fatiga en la capacidad visual de un grupo de motoristas de élite durante una competición de resistencia de 24 horas de motociclismo. Las variables estudiadas fueron la Agudeza visual dinámica (AVD), habilidad visual relacionada con una conducción eficaz, en alto y bajo contraste y la Frecuencia crítica de Fusión (FCF) para controlar el nivel de activación y fatiga del sistema nervioso central. Participaron 10 pilotos de categoría nacional e internacional con una edad media de  $28 \pm 6$  años. Los resultados no reflejaron diferencias significativas entre las diferentes mediciones realizadas para la AVD de alto y bajo contraste ni en la FCF durante la competición. A pesar de la dureza de la competición, la fatiga inducida no produjo una disminución de la AVD, tampoco supuso una reducción del nivel de activación del SNC tal y como reflejan los resultados en la FCF. Las ligeras variaciones observadas en la AVD pudieron deberse a distintos factores como la fatiga, condiciones ambientales, periodos de descanso,...El nivel de activación observado pudo deberse al adecuado nivel de preparación, descansos entre relevos, ingesta de bebidas energéticas,...

# ÍNDICE

<b>1. Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	
<hr/>	
<b>2. Conducción.....</b>	<b>9</b>
2.1. Procesos cognitivos y sensomotores en la conducción .....	9
2.1.1. Atención .....	10
2.1.2. Capacidades visoperceptivas .....	10
2.1.2.1. Coordinación visomotora.....	11
2.1.2.2. Búsqueda o exploración visual.....	11
2.1.3. Memoria de trabajo .....	13
2.1.4. Aspectos interpretativos y toma de decisiones .....	14
2.1.5. Funciones de ejecución .....	14
<b>3. Fatiga y conducción.....</b>	<b>15</b>
3.1. La fatiga en el contexto de la conducción.....	15
3.2. Efectos que produce la fatiga.....	16
3.3. Detección de fatiga .....	16
3.4. Factores que contribuyen en la fatiga.....	17
<b>4. Visión y conducción deportiva.....</b>	<b>20</b>
4.1. Capacidad visual y conducción.....	20
4.2. Optometría y conducción deportiva .....	21
<b>5. Agudeza visual dinámica .....</b>	<b>25</b>
5.1. Agudeza visual dinámica y estática .....	26
5.2. Agudeza visual dinámica y movimientos oculares.....	26
5.3. Factores que influyen en la agudeza visual dinámica .....	27
5.4. Evolución de la agudeza visual dinámica .....	29
5.5. Agudeza visual dinámica y conducción deportiva.....	30
5.6. Fatiga y agudeza visual dinámica .....	31
<b>6. Frecuencia crítica de fusión .....</b>	<b>33</b>
6.1. Factores implicados.....	33
6.2. Aplicaciones.....	37
6.3. Relación con la fatiga .....	39
6.3.1. Aplicaciones en el contexto deportivo .....	40

**PARTE EXPERIMENTAL**

---

<b>7. Objetivos</b> .....	<b>43</b>
<b>8. Hipótesis</b> .....	<b>43</b>
<b>9. Método</b> .....	<b>44</b>
9.1. Participantes.....	44
9.2. Materiales .....	44
9.3. Estímulos .....	44
9.4. Instalaciones .....	45
<b>10. Procedimiento</b> .....	<b>45</b>
10.1 Determinación de la agudeza visual dinámica .....	45
10.2. Secuencia experimental en la medida de la agudeza visual dinámica.....	46
10.3. Determinación de la frecuencia crítica de fusión.....	46
10.4. Secuencia experimental en la medida de la frecuencia crítica de fusión .....	46
<b>11. Diseño estadístico</b> .....	<b>47</b>
<b>12. Resultados</b> .....	<b>48</b>
<b>13. Discusión</b> .....	<b>51</b>
<b>14. Conclusiones</b> .....	<b>56</b>
<b>15. Bibliografía</b> .....	<b>58</b>
<b>16. Anexos</b> .....	<b>73</b>

## 1. Introducción

---

El motociclismo deportivo en nuestro país goza de gran popularidad. Este hecho se debe en gran medida a los éxitos que desde hace décadas han cosechado muchos de nuestros pilotos en competiciones nacionales e internacionales. Así por ejemplo, en los últimos 40 años se han logrado 31 campeonatos mundiales de motociclismo. Hay que tener en cuenta que hasta los Juegos Olímpicos de Barcelona de 1992, los grandes resultados de los deportistas españoles de élite eran escasos. Sin embargo en el caso del motociclismo para esa fecha ya se habían conseguido 23 títulos mundiales, un hecho que podríamos calificar de insólito en el deporte de competición de élite de nuestro país.

En los últimos años el deporte se ha transformado en un auténtico fenómeno social. En el caso del motociclismo, el gran seguimiento mediático de estos eventos ha convertido a algunos pilotos en auténticos ídolos y millones de aficionados siguen por televisión este tipo de competiciones. Así, por ejemplo, el último gran premio de España de motos GP tuvo una audiencia televisiva de 3,2 millones siendo el programa de televisión más visto del día. Es de tal magnitud el impacto social que producen estos acontecimientos deportivos que el Ministerio del Interior puso en marcha un operativo de tráfico para la vigilancia y asistencia de los motoristas que se iban a desplazar a presenciar el último gran Premio de España de motociclismo, en previsión a los 370.000 movimientos de vehículos y asistencia de 55.000 motos y 130.000 personas que iban a producirse.

En el presente estudio hemos evaluado el efecto que produce la fatiga en la capacidad visual de motoristas de élite durante la realización de una competición de resistencia. Creemos que esta investigación puede resultar interesante no sólo en el contexto deportivo sino en un ámbito social más amplio relacionándolo con la siniestralidad de los accidentes de circulación. Hay que señalar la especial vulnerabilidad de los motociclistas cuando sufren accidentes de tráfico y que en el periodo comprendido entre los años 2003 y 2008 supuso la muerte en nuestro país de 2.666 personas. Los datos que revela la OMS (2007) ponen de manifiesto que los accidentes de tráfico suponen un serio problema de salud pública:

- Cada año pierden la vida 1,2 millones de personas en accidentes de tráfico.
- Cada día cerca de 1.000 personas menores de 25 años pierden la vida en accidentes de tráfico en todo el mundo.
- Las lesiones producidas en accidentes de tráfico son la principal causa de muerte en el mundo para el grupo de edad entre los 15 y 19 años. En los grupos de edad de 10 a 14 años y de 20 a 24 años es la segunda causa de mortalidad.

La fatiga está considerada en España (DGT) como la cuarta causa de siniestralidad en nuestras carreteras y la OMS (2004) la identifica como un factor de riesgo influyente en los accidentes de tráfico.

Por otro lado, la visión representa el sentido más importante durante la conducción. El conductor recibe el 80% de la información que precisa para la conducción a través de la vista, de modo que si se produce una disminución en el rendimiento visual se puede ver mermada la correcta captación de estímulos, alterado el proceso cognitivo, toma de decisiones y respuesta psicomotora (Ozcoidi et al., 2002).

Todo ello nos lleva a pensar que es de interés social conocer cómo puede impactar la fatiga sobre la visión de los conductores.

La Optometría como ciencia que evalúa la función visual, puede valorar cómo se adapta el sistema visual en un ambiente dinámico que cambia continuamente en el contexto deportivo en general y en el caso del motociclismo deportivo en particular.

En la actualidad la Optometría deportiva, como veremos más adelante, desarrolla su campo de acción en varias áreas entre las que cabe destacar la evaluación de las habilidades visuales relacionadas en el contexto deportivo. Tal y como anteriormente se ha apuntado, la realización de una disciplina deportiva suele estar relacionada con un entorno dinámico y cambiante. Este hecho es especialmente importante en el motociclismo deportivo donde la conducción se realiza a velocidades superiores a los 200 Km/h y las condiciones de visión pueden ser cambiantes (cambios de velocidad, de trayectoria, de iluminación, aparición de estímulos periféricos). Por tanto, en la evaluación visual de los conductores deberían considerarse las siguientes habilidades visuales: la agudeza visual, campo visual, percepción de distancias o sensibilidad al contraste. Tradicionalmente en la evaluación de la agudeza visual sólo se determina (o valora) la estática. La variedad y falta de fiabilidad en los instrumentos que evalúan la agudeza visual dinámica así como las diferencias en sus unidades de medida han contribuido negativamente a su implantación en los protocolos de actuación de la mayoría de optometristas. Las nuevas tecnologías han dado lugar a programas informáticos que evalúan esta habilidad visual, solucionando parte de los problemas que planteaban los instrumentos tradicionalmente empleados en la medición de la AVD, como es el caso del DinVA 3.0. (Quevedo, 2007), que permite valorar la AVD de forma objetiva, bajo diferentes condiciones de contraste, dirección y velocidad del estímulo.

Por tanto basándonos en los aspectos comentados anteriormente y tal y como apuntan otros autores (Burg, 1966; Committee on Vision National Research Council, 1985) creemos que la agudeza visual dinámica representa un valor superior a la agudeza visual estática en

condiciones reales y en especial en la realización de algunas tareas como es la conducción donde se ha relacionado la AVD con una menor siniestralidad (Burg, 1968; Chen y McMahan, 2006; Shinar, 1977 citado por Noy, 2006). Con todo ello, en el caso que la fatiga produjese un deterioro de esta habilidad visual podría ser indicativo de un mayor riesgo de accidentes.

Por otro lado, la determinación de la FCF ha sido utilizada como medida eficaz en la detección de fatiga, y en el ámbito deportivo como indicador de tolerancia de la carga física que induce la realización de un ejercicio físico. Con la monitorización de la FCF a lo largo de una competición de resistencia podremos detectar si la fatiga inducida en el piloto es tolerable.

En el campo de la Optometría deportiva diferentes trabajos de investigación señalan que los deportistas presentan mejores habilidades visuales que la población sedentaria y además la realización de las diferentes disciplinas deportivas requiere de la especialización y desarrollo de ciertas habilidades visuales. En el presente estudio, la muestra la componen pilotos de motociclismo de élite, cuyos resultados pueden revelar la resistencia que presenta el sistema visual de estos sujetos bajo condiciones de fatiga y por tanto, pueden ser utilizados como patrón en la detección de talentos. En cuanto al efecto que produce la fatiga sobre la AVD hay que decir que los pocos estudios que existen al respecto no coinciden en sus resultados y además no se han realizado específicamente con motociclistas o conductores.

El marco conceptual de este estudio se sitúa en el área de la Optometría y psicología deportiva. Su estructura la componen dos grandes apartados que son el marco teórico y la parte experimental.

El primer capítulo queda constituido con esta breve introducción.

El marco teórico está formado por cinco capítulos, de los cuales, los dos primeros analizan diferentes aspectos relacionados con la conducción. Más concretamente, el capítulo dos hace referencia a los distintos procesos cognitivos y sensomotores que se producen. En el capítulo tres, puesto que en la presente investigación se va a observar el efecto que tiene la fatiga sobre dos variables (agudeza visual dinámica y frecuencia crítica de fusión), se realiza un análisis completo de aquellos elementos relacionados con la fatiga y la conducción.

En el cuarto capítulo se trata de la visión y la conducción deportiva, por lo que se realiza un análisis de las capacidades visuales requeridas durante la conducción así como de las diversas áreas de actuación de la optometría en el ámbito deportivo.

Los dos últimos capítulos del marco teórico se destinan a realizar una exhaustiva revisión de los datos y conclusiones que ha ofrecido la literatura científica respecto a las dos variables estudiadas en esta investigación, la AVD y la FCF.



La parte experimental constituye el siguiente apartado de este trabajo. En un primer apartado se explican los objetivos de este proyecto así como la metodología empleada. En el siguiente capítulo se exponen el experimento llevado a cabo y las dos pruebas que lo componen. En la primera de ellas se ha observado la influencia de la fatiga sobre la AVD para condiciones de bajo y alto contraste en un grupo de motociclistas de élite durante la realización de una prueba de resistencia de 24 horas. En la segunda prueba se monitoriza la medida de la FCF durante la realización de la prueba con el fin de determinar el nivel de activación y/o fatiga de los pilotos participantes.

En los capítulos once y doce se presentan respectivamente el diseño estadístico empleado y los resultados obtenidos.

Por último, en los capítulos trece y catorce se presentan la discusión y conclusiones extraídas en la realización de este trabajo.

Finalmente se incluye la relación de fuentes bibliográficas referenciadas a lo largo del texto.

Acabaremos esta introducción recalando que el interés del presente estudio reside en evaluar mediante la AVD el efecto que produce la fatiga en un grupo de motociclistas de élite durante la realización de una prueba de resistencia de 24 horas y determinar mediante la medida de la FCF el nivel de activación y/o fatiga que presentan durante la misma. Pensamos que estos resultados pueden resultar muy importantes en la práctica de una disciplina deportiva tan exigente como el motociclismo donde se necesita de un rendimiento visual óptimo para poder llevar a cabo un correcto procesamiento de la información. También creemos que los resultados pueden ser beneficiosos en el ámbito de la seguridad vial para poder ayudar a establecer posibles estrategias que eviten la fatiga durante la conducción en periodos de tiempo prolongados.

## MARCO TEÓRICO

---

### 2. Conducción.

La conducción de un vehículo supone una tarea compleja, que incluye la realización coordinada de diversas tareas, en la que se debe controlar un mecanismo móvil en un entorno dinámico sometido a cambios continuos (Castro, Durán y Cantón, 2006).

La tarea principal en la conducción consiste en guiar el vehículo en la trayectoria correcta mientras se realiza un desplazamiento longitudinal y horizontal. Simultáneamente se lleva a cabo una exploración visual del ambiente que sirve al conductor para detectar posibles obstáculos frente a los que deberá ejecutar la respuesta que considere más adecuada.

En el caso del motociclismo deportivo, la conducción se realiza a velocidades notablemente superiores a las alcanzadas en la conducción cotidiana en carreteras. Por tanto, resulta más crítica la toma de decisiones, siendo vital poder reaccionar lo más rápidamente a los estímulos y realizar las acciones adecuadas a partir de la información que recibe el motociclista. Estas acciones que condicionan la trayectoria a seguir, son en gran medida consecuencia de la información obtenida del campo visual atencional, que en la conducción comprende la parte de la carretera por la que se circula extendiéndose desde unos pocos metros por delante del vehículo hasta unos centenares de metros más allá (Egea Caparrós, 2000).

La conducción en el motociclismo deportivo supone un ejercicio de resistencia aeróbica caracterizado por tener una duración prolongada y mantener una intensidad estable a nivel corporal, así como por la activación y predominio de la vía aeróbica que oxida y degrada en primer término la glucosa y posteriormente los ácidos grasos. Esta vía consume oxígeno y produce elevadas cantidades de energía (Ortega y Jiménez, 1992).

#### 2.1. Procesos cognitivos y sensomotores en la conducción.

La conducción es una actividad en la que participan procesos cognitivos y sensomotores. Los motociclistas los necesitan para comprender la información que llega del medio ambiente y

que resulta en la toma de decisiones y realización de las respuestas que considere más apropiadas.

Entre las capacidades cognitivas y sensomotoras que son fundamentales para una buena conducción se encuentran la atención, memoria de trabajo, capacidades visoperceptivas, aspectos interpretativos, toma de decisiones y funciones de ejecución.

#### 2.1.1. Atención.

La atención puede definirse como un mecanismo central de control del procesamiento de información, que actúa de acuerdo con los objetivos del organismo activando e inhibiendo procesos, de manera que puede orientarse hacia los sentidos, las estructuras de conocimiento en memoria y los sistemas de respuesta (Colmenero, Catena y Fuentes, 2001). En la conducción, la experiencia es un elemento importante en la automatización, de manera que la atención actúa como filtro de la información. La atención en la conducción incluye:

- Atención sostenida o vigilancia: es la capacidad de mantener el estado de selectividad atencional durante un periodo de tiempo prolongado en la realización de una tarea (García-Ogueta, 2001).
- Atención selectiva: es la capacidad para seleccionar, de entre varias posibles, la información relevante que se va a procesar o el esquema de acción apropiado (García-Ogueta, 2001).
- Atención dividida: es la capacidad de realizar la selección de más de una información a la vez o de más de un proceso o esquema de acción simultáneamente. Estudia el proceso de compartir la capacidad entre tareas o fases de una tarea (García-Ogueta, 2001).

#### 2.1.2. Capacidades visoperceptivas.

Entre las capacidades visoperceptivas se incluyen la búsqueda o exploración visual (permite la localización y detección de objetos en el espacio), la integración visomotora, cálculo de distancias, sensación de velocidad, etc....

Merece prestar atención en la coordinación visomotora y la búsqueda o exploración visual.

#### 2.1.2.1. Coordinación visomotora.

Una de las aptitudes perceptivo-motoras es la coordinación visomotora. Esta habilidad exige la presencia de un estímulo visual y la producción de una respuesta manual o bimanual ajustada al primero (Alonso et al., 2008). La conducción necesita de la habilidad de mantener una dirección, posición, velocidad y postura mientras se conduce, todo ello supone un alto nivel de coordinación visomotora (Borland y Nicholson, 1984).

Es conveniente examinar la coordinación bimanual visomotora como variable predictiva en el contexto de la seguridad vial, ya que entre los factores que ayudan a controlar la trayectoria del vehículo se encuentra la manipulación efectiva del volante y los pedales (Romero et al., 1990).

De hecho, la evaluación de la coordinación visomotora (generalmente bimanual) forma parte de la batería de pruebas que componen el examen psicotécnico necesario para acceder a las licencias de conducción en nuestro país. El Real Decreto 772/1997 por el que se aprueba el Reglamento General de conductores recoge entre las aptitudes perceptivo-motoras requeridas para obtener o prorrogar el permiso o licencia de conducción el examen de la coordinación visomotora, estableciendo que no deben presentarse alteraciones que supongan la incapacidad para adaptarse adecuadamente al mantenimiento de trayectorias establecidas.

#### 2.1.2.2. Búsqueda y exploración visual.

La conducción segura a alta velocidades, obliga al motociclista a realizar un proceso activo de exploración del medio ambiente en búsqueda de información que pueda ser relevante (Chen y McMahan, 2006). Una de las mayores causas de accidentes entre los motociclistas es el fracaso en la percepción de lo que sucede a su alrededor.

La búsqueda visual ha sido estudiada a través del registro de los movimientos oculares (Henderson y Hollingworth 1998; Land, Mennie y Rusted, 1999). Conocer las zonas donde el motociclista dirige la mirada durante la conducción y el número de fijaciones que reciben determinadas áreas da lugar a diferentes estrategias visuales de exploración. Así mismo, determinar las estrategias visuales de los conductores más expertos puede representar una herramienta útil de trabajo en la educación de aquellos conductores menos experimentados.

La obtención de los registros de los movimientos oculares y fijaciones pone de manifiesto los lugares o zonas donde se fijan los conductores para obtener la información más relevante que

les ayuda a anticipar la respuesta más adecuada y que dará lugar a una conducción más exitosa.

Los movimientos oculares más relevantes en la exploración visual que tiene lugar durante la conducción son los sacádicos. Con estos movimientos se consigue dirigir la mirada a las distintas zonas de interés, permitiendo la fijación foveal posterior. Las fijaciones oculares se producen entre los sacádicos y dan lugar a la proyección de un objeto sobre la fovea. Desde un punto de vista cognitivo, durante el tiempo que comprende una fijación se produce la recogida efectiva de información procedente del medio ambiente, se integra y se planifica a qué zonas de la periferia visual se dirigirá la siguiente fijación ocular (Tejero, Pastor y Crespo, 2004).

De todos modos la búsqueda visual durante la conducción también está determinada por la información procedente de la periferia, por la posible aparición súbita de diferentes estímulos que deben ser identificados con la mayor rapidez posible. La detección de las características globales de un objeto se realiza cuando aparece en el campo visual funcional pero su identificación plena sólo es posible en el campo visual central que es coincidente con la fovea y parte de la parafovea (Rantanen y Goldberg 1999; Van Diepen, Wampers y d'Ydewalle, 1998).

Algunos de los aspectos más significativos que diferencian a conductores expertos y novatos en cuanto a estrategia visual son:

- Los conductores inexpertos tienden a limitar las estrategias de exploración visual a la obtención de la información para poder seguir casi exclusivamente la trayectoria. Este comportamiento puede disminuir la capacidad de detectar eventos relevantes que pueden suceder fuera del marco de la exploración que realizan (Mourant y Rockwell, 1972).
- En cuanto a la duración de las fijaciones, los conductores expertos tienden a realizar fijaciones relativamente más largas cuando conducen en un entorno que les resulta fácil. En cambio tienden a realizar fijaciones más cortas cuando conducen en entornos más complejos para extraer información visual a partir de un mayor número de posiciones de la escena (Crundall y Underwood, 1998).
- En el seguimiento de la trayectoria, cuando se conduce a lo largo de un tramo prácticamente rectilíneo, las fijaciones oculares se concentran mayoritariamente en la zona de la calzada correspondiente al foco de expansión del flujo óptico (Land y Furneaux, 1997). Cuando se pone en marcha un vehículo se proyectan en las retinas de

los conductores una serie de desplazamientos y transformaciones en las imágenes proyectadas que reciben el nombre de flujo óptico y juega un papel esencial en el control perceptivo de la locomoción. La manera en la que se expanden estas imágenes retinianas proporciona información sobre la aproximación, magnitud de la velocidad y tiempo de llegada a un objeto (Lillo, 1996).

Cuando se trata del trazado de curvas, las fijaciones se concentran en el punto de la línea de visión que es tangencial al interior de la curva y sobre aquellas zonas de la calzada más próximas al vehículo. Al fijar sobre este punto tangencial a la curva, se obtiene información referente al grado de curvatura de la vía. Este conocimiento permite ajustar la dirección del movimiento del vehículo sin perder de vista la carretera que se extiende más allá de la curva y aquellos estímulos que puedan aparecer repentinamente (Land y Furneaux, 1997).

Asimismo la estrategia empleada en el trazado de la trayectoria cuando se conduce por curvas parece cambiar con la experiencia, siendo más consistente en el caso de los conductores más expertos (Cohen y Studach, 1977).

- Las estrategias visuales en conductores expertos también influyen en la capacidad de detectar eventos potencialmente peligrosos. La experiencia en la conducción mejora la capacidad de anticipar estos estímulos, del mismo modo parece ampliar el campo visual funcional del conductor (Crundall, Underwood y Chapman, 1999).

### 2.1.3. Memoria de trabajo.

La memoria de trabajo hace referencia a la habilidad en el manejo de distintos tipos de información de manera simultánea. La memoria de trabajo nos permite tener una continuidad en la percepción temporoespacial y operar sobre la información que poseemos. Conseguimos que se mantengan constantemente presentes y disponibles el objetivo al que se dirige nuestra acción, las estrategias que hemos planificado para lograrlo y los eventos internos y externos relevantes para la acción que están teniendo lugar durante el tiempo que se está llevando la acción (Sánchez-Carpintero y Narbona, 2001).

#### 2.1.4. Aspectos interpretativos y toma de decisiones.

El conductor debe hacer una correcta interpretación y evaluación de la información recibida. A continuación debe elegir qué acción o maniobra es la más adecuada entre todas las posibles para esa situación determinada a la que se enfrenta.

La habilidad de elaborar juicios y toma de decisiones adecuadas resulta especialmente importante para gestionar aquellas situaciones potencialmente peligrosas (Chen y McMahan, 2006).

#### 2.1.5. Funciones de ejecución.

La ejecución supone el último paso en el procesamiento de la información y la evaluación de los resultados obtenidos con la ejecución de la acción supone una experiencia para futuras situaciones similares.

Para una mayor seguridad, una vez escogida la maniobra que considera más adecuada, el conductor debe ejecutarla con la mayor rapidez y precisión posible para mantener el control sobre su vehículo y su trayectoria.

El tiempo de reacción hace referencia al periodo de tiempo transcurrido entre la presentación del estímulo y la ejecución de la acción. Supone un valor que mide la rapidez con la que una decisión se lleva a cabo. Además, está considerado un parámetro clave para poder comprender la respuesta del conductor a la hora de evitar obstáculos (Castro et al., 2006). Un factor que puede aumentar el tiempo de reacción durante la conducción es la fatiga (Haworth y Rowden, 2006), de modo que la seguridad del conductor puede verse comprometida. El tiempo de reacción también puede verse aumentado por otros factores como el envejecimiento. Es durante este proceso fisiológico cuando se observa un declive en las aptitudes psicomotrices poniendo de manifiesto durante la conducción de estas personas un deterioro en la reacción a estímulos diversos (Forteza, 1985).

Asimismo, se ha observado que la realización de ejercicios físicos de moderada intensidad produce una mejoría en los tiempos de reacción (Davranche y Audiffren, 2004; Davranche y McMorris, 2009).

### 3. Fatiga y conducción.

Cualquier esfuerzo físico que se mantiene un cierto tiempo provoca en el deportista la aparición inevitable del cansancio o fatiga. Este cansancio es consecuencia del desgaste energético y acumulación de sustancias residuales producto de la contracción muscular mantenida.

En el caso del motociclismo deportivo, mantener durante largos periodos de tiempo la tensión muscular a que obliga el dominio de la motocicleta y la tensión psicológica que supone la competición, hace necesario que el piloto posea una buena capacidad de resistencia que le permita recuperarse con la mayor facilidad y rapidez de la fatiga.

#### 3.1. La fatiga en el contexto de la conducción.

Mannino y Polani definen en el libro Neurociencias y deporte (2004) la fatiga en el contexto de la práctica deportiva como:

“un estado de agotamiento debido a un esfuerzo excesivo de carácter físico y/o psíquico. Los síntomas más relacionados con un estado de cansancio, que denuncia el traspaso de los límites de resistencia del organismo y de la mente, se pueden manifestar como una reducción del rendimiento, de la funcionalidad, de la capacidad de concentración y, por lo tanto, de rechazo al trabajo que se debe realizar.”

“la misma definición de fatiga, es en cada caso, variable según las actividades desarrolladas, como ocurre en los deportes cíclicos, donde es habitual la fatiga muscular, o en los de situación, en los que resulta considerable el esfuerzo mental como consecuencia de procesos de elaboración más complejos.”

El motociclismo deportivo puede, por ello, dar lugar a fatiga tanto por el esfuerzo mental que supone la realización de una tarea compleja (conducción) como por el esfuerzo muscular que supone el control de la máquina y que es comentado más adelante.

En la conducción, la fatiga es comúnmente referida en términos del estado subjetivo (cansancio) y disminución de medidas objetivas que evalúan el rendimiento (como puede ser un aumento en el tiempo de reacción).

La fatiga puede dar lugar a un rendimiento deficiente en la conducción que se puede ver reflejado en pérdidas de atención, peores tiempos de reacción, deficiencia en la toma de decisiones, pobre control de habilidades motoras y somnolencia (Haworth y Rowden, 2006).



La fatiga en la conducción puede aparecer después de permanecer despierto o acumular pocas horas de sueño durante largos periodos de tiempo, esfuerzos físicos y mentales mantenidos, interrupción de los ritmos circadianos, periodos de descanso inadecuados o situaciones de estrés.

### 3.2. Efectos que produce la fatiga.

Según Haworth y Rowden (2006) la fatiga puede impactar en el rendimiento de la conducción, pudiendo dar lugar a:

- Aumento de los tiempos de reacción.
- Disminución de la atención sostenida o vigilancia.
- Pobre control de la trayectoria.
- Pobre control de la velocidad.
- Disminución de la conciencia.
- Aparición de microsueños como sistema de defensa del organismo a la falta de sueño que hacen que durante un brevísimo lapso de tiempo se pierda la conciencia.
- Posibles alucinaciones.

### 3.3. Detección de la fatiga.

La fatiga puede detectarse a través de algunos cambios fisiológicos en los registros de:

- Parpadeo y movimientos oculares.  
La frecuencia del parpadeo y el grado de apertura palpebral son buenos indicadores del nivel de cansancio del conductor (Ji, Zhu y Lan; 2004). En ausencia de fatiga el conductor parpadea y mueve los ojos de forma rápida y constante manteniendo una apertura palpebral grande. Cuando aparece la fatiga la velocidad de parpadeo y apertura palpebral disminuyen.
- Movimientos de cabeza.  
En una situación sin somnolencia el conductor mantiene una posición erguida y sólo realiza movimientos normales relativos a la conducción. Cuando se entra en estado de somnolencia se detectan cambios frecuentes en la posición de la cabeza y cabeceos (García et al., 2008).

- Actividad cerebral.  
El electroencefalograma proporciona información acerca del estado de estrés, somnolencia o reacciones emocionales (Lin et al., 2007).
- Ritmo cardiaco.  
A través del electrocardiograma y variaciones en el ritmo cardiaco se puede determinar el estado psicofisiológico del conductor (García et al., 2008).
- Tono muscular.  
Cambios en el tono muscular pueden ser predictores de fatiga muscular (Haworth y Rowden, 2006).
- Frecuencia crítica de fusión.  
La observación de cambios en la frecuencia crítica de fusión ha sido utilizada frecuentemente como método objetivo en la detección de fatiga (Grandjean, 1979; Murata et al., 1991, Sato et al., 1995).

Por desgracia la aplicación de algunos de estos dispositivos en un contexto real es compleja y se hace difícil su utilización para advertir a los conductores del riesgo potencial que supone la fatiga en la conducción.

### 3.4. Factores que contribuyen en la aparición de fatiga.

Algunos de los factores que contribuyen a la sensación de fatiga durante la conducción son:

- Privación de sueño.  
No haber dormido adecuadamente puede producir fatiga desde el momento en que se empieza conducir (Philip et al. 2005). La pérdida acumulativa de sueño durante varios días puede disminuir el rendimiento en la conducción (Estivill, 2009).
- Tiempo de conducción.  
Se considera precursor de la fatiga la realización de tareas durante periodos de tiempo prolongados, como puede ser recorrer largas distancias conduciendo.  
El rendimiento de la conducción puede disminuir después de conducir periodos de tiempo de tan sólo 40 minutos (Thiffault y Bergeron, 2003).
- Conducir ciertas horas del día.  
Se sabe que los ritmos circadianos pueden impactar sobre la fatiga en los conductores. Estos ritmos hacen referencia a las horas del día en que los seres humanos están biológicamente dispuestos para dormir, los periodos de mayor riesgo son entre la

media noche y las seis de la mañana y entre las dos y cuatro del mediodía (Estivill, 2009).

➤ La monotonía.

La conducción monótona puede llevar a una falta de atención y aburrimiento que contribuyen a la fatiga en la conducción (Thiffault y Bergeron, 2003).

Del mismo modo, la conducción monótona puede producir una pérdida de estimulación en el conductor que resulta en una fatiga pasiva (Desmond y Hancock, 2001, citado por Haworth y Rowden, 2006).

➤ La fatiga muscular.

Las demandas físicas implicadas en la conducción de motocicletas pueden producir fatiga en el motociclista.

Brown, I.D. (1994) destaca diferentes aspectos de fatiga física en términos de fatiga muscular dinámica y estática.

La fatiga muscular dinámica se experimenta cuando el ejercicio físico implica la relajación y contracción continua de los músculos. La conducción normal de una motocicleta no suele experimentar este tipo de actividad física. Sin embargo, sí aparece en el motociclismo deportivo, donde las circunstancias de carrera obligan a trazar repetidamente curvas muy ajustadas durante periodos de tiempo más largos.

La fatiga muscular estática puede aparecer con mayor probabilidad en los motoristas, y es debida a la posición que el cuerpo debe asumir durante la conducción de una motocicleta.

De todos modos la manera en que la fatiga muscular puede contribuir a la fatiga no es unánimemente aceptada. Brown, I.D. (1994) asegura que la fatiga muscular estática puede distraer a los conductores en la realización de aquellas tareas que requieren demandas cognitivas. Contrariamente, Ma, Williamson y Friswell (2003) encontraron que a pesar de que los motociclistas presentaban niveles de fatiga física considerables, la vigilancia y tiempo de reacción no se veían afectados.

➤ Factores medioambientales.

Los motociclistas presentan una mayor exposición a los efectos adversos que pueden tener ciertos factores medioambientales y que pueden dar lugar a la aparición o aumento de la fatiga.

Entre estos factores ambientales se incluyen el viento, la lluvia, el tiempo frío o caluroso, la vibración, contaminación acústica y condiciones del pavimento.

Ma et al. (2003) encontraron que la vibración, las condiciones climáticas y el acondicionamiento de la carretera son factores que los motociclistas informan como causantes de fatiga.

➤ Demandas cognitivas.

El esfuerzo mental requerido para controlar una motocicleta es probablemente superior que el necesario para conducir un automóvil (RTA 2004; NHTSA, 2007). De todos modos es necesaria la realización de un mayor número de estudios que lo confirmen. Este esfuerzo que requiere el desarrollo de esta compleja tarea puede llevar a un mayor gasto energético y un incremento de la fatiga (Haworth y Rowden, 2006).

## 4. Visión y conducción deportiva.

Existe un amplio consenso en confirmar el sentido de la visión como la principal fuente de información procedente del medio ambiente (Loran y MacEwen, 1995).

No cabe duda que esta reflexión es aplicable al ámbito deportivo en general y a la conducción deportiva en particular.

### 4.1. Capacidad visual y conducción.

El 80% de la información que se precisa para conducir es recibida a través de la visión y, por tanto, es necesaria una correcta función visual para el adecuado desarrollo de la tarea. Posibles alteraciones en la visión pueden comprometer la captación adecuada de estímulos, procesamiento de la información, detección de eventos súbitos potencialmente peligrosos, toma de decisiones y respuesta psicomotora (Ozcoidi et al., 2002).

Se puede decir que la conducción exige del desarrollo de ciertas habilidades visuales que garanticen una eficaz recogida de la información. Es por tanto necesario estudiar la función visual de los conductores para comprobar que la visión no comprometa su seguridad. Los profesionales del cuidado de la visión deben señalar la importancia de mantener unas capacidades visuales suficientes para la conducción.

En la evaluación específica de la función visual en la conducción es aconsejable valorar:

- Agudeza visual: una óptima agudeza visual es necesaria para poder identificar los peligros potenciales que se presentan durante la conducción. La agudeza visual estática aún siendo un parámetro implantado en los exámenes psicofísicos que se realizan para obtener las licencias de conducción, no tiene una gran validez ecológica en este campo. La medida de la Agudeza visual dinámica es más sensible en las tareas de conducción y parece más predictiva de una conducción segura que la agudeza visual estática (Chen y McMahan, 2006).
- Campo visual: las alteraciones en el campo visual tienen una transcendencia importante en los accidentes de tráfico, sobre todo cuando está unida a condiciones adversas como puede ser una baja iluminación o la fatiga (Ozcoidi et al., 2002).

Bowers et al. (2005) encontraron que conductores con suaves o moderadas restricciones, podían tener afectadas habilidades específicas en la conducción que están relacionadas con la realización de maniobras en las que un campo visual amplio parece ser importante (como puede ser pasar un cruce de carretera).

De todos modos, aunque los defectos en el campo visual parecen estar relacionados con el rendimiento en la conducción, se observan importantes diferencias entre sujetos (Racette y Casson, 2005).

- Sensibilidad al contraste: puede tener mayor impacto sobre la conducción en situaciones de iluminación mesópica y escotópica (Menéndez, 2004). Una disminución en la función de sensibilidad al contraste suele ir acompañada de un aumento del deslumbramiento (Miller, D., 2003) y por tanto a una cierta incapacidad en la conducción.
  
- Motilidad ocular: la movilidad de los músculos extraoculares debe ser coordinada y simétrica permitiendo orientar la mirada hacia los eventos que llaman nuestra atención. De una buena motilidad ocular dependerá en parte una buena exploración visual del medio, así como la agudeza visual dinámica.

#### 4.2. Optometría y conducción deportiva.

La optometría como ciencia que mide la función visual puede tener una misión crucial en la evaluación de aquellos que practican modalidades deportivas en las que las demandas visuales son importantes.

La especialización de algunos optometristas en el ámbito deportivo ha permitido constatar la importancia del desarrollo de ciertas habilidades visuales en la práctica de algunas disciplinas deportivas. Para un buen análisis de la visión en el contexto del rendimiento deportivo es necesario conocer los requerimientos visuales en cada una de las especialidades deportivas.

En el caso de la conducción deportiva, se trata de conocer aquellas habilidades visuales que pueden ayudar al piloto a determinar la trayectoria más adecuada y detectar obstáculos peligrosos.

Loran y MacEwen (1995) consideran que las habilidades visuales con mayor implicación en la conducción deportiva son:

- Agudeza visual.
- Agudeza visual dinámica.

- Motilidad ocular.
- Visión en profundidad.
- Concienciación periférica.
- Tiempo de reacción visual.

Más adelante se dedica un apartado a la agudeza visual dinámica, ya que constituye el objetivo de este estudio.

El objetivo de la optometría en el contexto del deporte está enfocado a valorar la salud, eficacia y precisión del sistema visual para que no afecte en el rendimiento deportivo, así como preservar la función visual, siendo sus principales áreas de actuación:

- Protección ocular.
- Neutralización óptica.
- Examen visual completo, con especial énfasis en aquellas habilidades visuales relacionadas con cada una de las modalidades deportivas.
- Entrenamiento visual.

#### Protección ocular.

El objetivo consiste en preservar la función visual de los deportistas mediante el uso de diferentes dispositivos de protección para cada una de las disciplinas en función del posible riesgo que supone su práctica.

Los traumatismos oculares pueden ser debidos a distintos factores:

- La exposición prolongada a la radiación solar puede producir desde queratoconjuntivitis hasta procesos oculares más graves como opacidades de cristalino y degeneraciones maculares (Bergmanson y Soderberg, 1995). Por parte del optometrista se requiere valorar las diferentes situaciones que pueden producirse en la práctica deportiva y proporcionar distintos filtros que protejan de la radiación solar sin influir negativamente en la percepción cromática.
- Traumas mecánicos producidos por impactos y cuerpos extraños. La tarea del optometrista consiste en proporcionar dispositivos de protección como gafas o máscaras en aquellas situaciones de riesgo en las que se es más susceptible de sufrir este tipo de complicaciones. Según un estudio realizado en Estados Unidos en 1994, el 90% de las lesiones oculares son evitables con el adecuado uso de gafas protectoras (citado por Sillero, 2004).

Cillino et al. (2008), en un estudio retrospectivo, encontraron que en el 17,5% de varones que fueron atendidos por trauma ocular, la causa estuvo relacionada con la práctica deportiva.

#### Neutralización óptica.

Se debe considerar, en función de las necesidades visuales requeridas en cada disciplina deportiva, la necesidad de neutralizar ciertos errores refractivos ya sea con gafas o lentes de contacto. El actual estilo de vida ha contribuido al aumento de la práctica de deportes y este hecho ha aumentado la necesidad de adaptar lentes de contacto confortables y seguras (Efron, 1995). Además, hay que considerar que este tipo de consulta por parte de los deportistas puede ser frecuente, ya que la prevalencia de errores refractivos entre deportistas y población sedentaria es bastante similar (Beckerman y Hitzeman, 2001).

En la actualidad se considera como primera opción en la neutralización de los defectos refractivos en la práctica deportiva el uso de lentes de contacto blandas de reemplazo frecuente.

#### Examen visual.

Resulta necesaria la realización de una evaluación optométrica completa, prestando atención a las habilidades visuales requeridas en cada disciplina deportiva (Quevedo, 2007) y así poder establecer si la función visual del deportista puede afectar a su rendimiento deportivo.

Según Beckerman y Hitzeman (2003), todos los atletas necesitan de una exhaustiva batería de exámenes para evaluar la función visual. Asimismo, en su investigación queda reflejado que los protocolos de la *Sport Vision Section* de la American Optometric Association incluyen la evaluación de las siguientes habilidades visuales: agudeza visual, sensibilidad al contraste, alineamiento ocular, coordinación ojo-mano y ojo-pie, dominancia ojo-mano-pie, movimientos oculares, percepción en profundidad, tiempos de reacción visual, velocidad de estereopsis y de reconocimiento.

#### Entrenamiento visual.

Su objetivo es potenciar la función visual para obtener un mejor rendimiento deportivo. Después de analizar el deporte y sus necesidades visuales, antes de empezar con el entrenamiento visual es necesario haber realizado un examen visual completo para conocer niveles de partida.



El entrenamiento visual que se realiza en el ámbito deportivo se estructura en tres fases (Quevedo y Solé, 1994):

1. Entrenamiento visual general, con el fin de proporcionar un óptimo nivel de funcionalidad y solucionar aquellos problemas visuales que pueden llevar a una limitación en la práctica deportiva. Supone el entrenamiento visual que se realiza normalmente en la práctica optométrica.
2. Entrenamiento visual específico: su objetivo es potenciar aquellas habilidades visuales que están más relacionadas con cada una de las disciplinas deportivas y el rol específico que desarrolla el jugador. En esta etapa se parte de una visión normal para alcanzar un nivel excelente en aquellas habilidades visuales implicadas en el rendimiento deportivo. Es en esta fase donde se intenta adaptar estos ejercicios a las características de la disciplina a la que se aplican. Por este motivo, repetimos, es necesario haber realizado previamente un minucioso análisis de las habilidades visuales que intervienen de forma más concreta en el deporte.
3. Entrenamiento visual integrado: los ejercicios se adaptan a las características técnicas y tácticas de cada disciplina deportiva. Los contenidos visuales se integran en acciones con elementos técnicos, tácticos, físicos y psicológicos. Se realizan en el propio campo de juego (cancha de baloncesto, pista de tenis, piscina de waterpolo...) e idealmente, pasan a asimilarse y formar parte del día a día del entrenamiento deportivo.

A continuación se relatan los aspectos más relevantes en las dos variables que han sido objeto de estudio en esta investigación, la agudeza visual dinámica (AVD) y la frecuencia crítica de fusión (FCF).

## 5. Agudeza visual dinámica.

La agudeza visual dinámica consiste en la capacidad de reconocer detalles de un estímulo cuando existe un movimiento relativo entre el observador y el estímulo observado (Cline et al, 1980). Están implicados en esta habilidad visual elementos relacionados con la velocidad y el desplazamiento, aspectos que son inherentes a la conducción deportiva.

Para el desarrollo de una adecuada AVD es necesario que el sistema oculomotor trabaje adecuadamente y tener una agudeza visual estática estándar (AVE). Más adelante se dedica atención a las relaciones que existen entre estas funciones del sistema visual.

Diversos autores coinciden en afirmar que la AVD constituye una medida superior a la AVE como parámetro que valora el rendimiento visual en la vida real (Burg, 1966; Committee on Vision National Research Council 1985,). La valoración de la AVE ofrece información sobre umbrales de resolución en situaciones estáticas, sin embargo, la mayoría de tareas cotidianas no se realizan normalmente en situaciones ausentes de movimiento y por tanto la AVE puede que no proporcione una representación real de las demandas visuales en estas situaciones (Banks et al., 2004).

A pesar de ello la medición de la AVD no suele estar integrada en las revisiones optométricas rutinarias. Este hecho se puede ver alimentado por distintos factores como puede ser la falta de publicaciones que destaquen su utilidad clínica y el desconocimiento en la interpretación de resultados. También contribuye que los instrumentos tradicionalmente empleados en la medición de la AVD (rotador de Kirschner y rotador motorizado de Pegboard) presentan una validez y fiabilidad cuestionable y diferencias en cuanto a normas y condiciones ambientales de uso. Todo ello daría lugar a variaciones en las medidas y dificultades en la comparación de resultados entre los diferentes métodos. Afortunadamente en los últimos años, las nuevas tecnologías han permitido la aparición de programas informáticos que miden la AVD como es el DINVA 3.0. (Quevedo, 2007) y que solucionan algunos de los problemas psicométricos y de aplicabilidad práctica que presentaban los instrumentos anteriormente citados.

### 5.1. Agudeza visual dinámica y estática.

La AVD es una habilidad visual que está estrechamente ligada con la AVE y el sistema oculomotor. Como habilidad visual que consiste en la capacidad de resolución de un estímulo en movimiento está íntimamente relacionada con la AVE.

Según Plou (citado por Fernández et al., 2007) es frecuente que una mala AVE prediga una mala AVD pero no siempre una buena AVE va a ser predictiva de una buena AVD. Las conclusiones a las que llegan Nakasuka et al. (2006) van en esta línea, dado que sus resultados indican que los errores refractivos afectan la AVD, de modo que una AVE disminuida limita la AVD.

Varios estudios han demostrado que existe una baja correlación entre AVD y AVE en sujetos que tienen AVE 20/20 (Burg, 1966; Miller y Ludvigh, 1962). Además, se ha comprobado que esta correlación disminuye a medida que aumenta la velocidad del estímulo (Burg y Hulbert, 1961). La velocidad angular a partir de la cual aparece este deterioro es de aproximadamente 50º/seg. (Miller y Ludvigh, 1962) ó 60º/seg. (Hulbert et al., 1958).

Más recientemente, Quevedo (2007) comprueba que la correlación entre AVE y AVD a una velocidad de desplazamiento del estímulo de tan sólo 5'74º/seg es del 64%. A la vista de los datos ofrecidos por la investigación, una baja correlación entre AVE y AVD a velocidades altas y moderadas, indicaría que es poco probable que la AVE pueda ser considerada un valor predictivo del rendimiento visual en la conducción.

### 5.2. Agudeza visual dinámica y movimientos oculares.

Una óptima AVD contiene un componente importante relacionado con la eficacia del sistema oculomotor, ya que los movimientos oculares desempeñan un papel importante en la detección de un estímulo en movimiento (Banks et al., 2004; Loran y MacEwen, 1995).

Durante este proceso dinámico de la visión, el cerebro manda un mensaje a los músculos extraoculares, causando la inervación apropiada para colocar y mantener la imagen del objeto en la vecindad de la fovea durante un periodo de tiempo suficientemente largo que permita la resolución del detalle (Loran y MacEwen, 1995).

La velocidad máxima a la cual un estímulo móvil puede ser seguido correctamente por los ojos es de aproximadamente 30º/seg (Rouse et al., 1988) o 40º/seg (Committee on Vision, National Research Council, 1985). Los movimientos oculares de seguimiento son los responsables de

mantener la fovealización del estímulo en este movimiento de rastreo. A velocidades superiores a los valores citados, se utilizan conjuntamente los movimientos sacádicos y de seguimiento para mantener la fijación foveal. Los movimientos sacádicos pueden ser usados para fijar fovealmente de manera intermitente la trayectoria de estímulos con velocidades superiores a 1000º/seg. (Committee on Vision, National Research Council. 1985).

Kohmura et al. (2008) estudiaron la relación entre los movimientos sacádicos y la AVD. De sus resultados se desprende que un factor importante en la correcta discriminación de un objeto que se mueve a altas velocidades es el tiempo de latencia del movimiento sacádico. Sin embargo, no encontraron relación de la AVD con la amplitud angular del movimiento sacádico ni con su velocidad máxima.

### 5.3. Factores que influyen en la agudeza visual dinámica.

Conocer los distintos factores que pueden condicionar las medidas de la AVD es vital para poder realizar un correcto análisis y comparación de resultados, así como para poder establecer unas normas en el procedimiento de la medida de la AVD que aseguren la repetitividad y validación de los valores y de los diferentes aparatos que evalúan esta habilidad visual.

A continuación se citan estos factores:

- La luminancia. La AVD mejora al aumentar la luminancia. La AVD puede mejorar con niveles de luminancia superiores para los cuales ya no son perceptibles mejoras en la AVE (Ludvigh y Miller, 1958). Por tanto es importante que en la medición de la AVD no se produzcan cambios de luminancia, ya que podrían verse alterados los resultados y llevar a análisis erróneos.
- El contraste. La AVD aumenta cuanto mayor es el contraste entre el estímulo y el fondo por el cual se desplaza (Aznar-Casanova, Quevedo y Sinnet, 2005; Brown, B., 1972b; Long y Garvey, 1988).

En 1985, el Committee on Vision of National Research Council (USA) señala la necesidad de evaluar AVD y contraste, considerándolo como un importante campo de investigación emergente. La evaluación conjunta de la AVD y el contraste permite una mayor validez ecológica de los resultados que se obtengan, ya que muchas de las actividades cotidianas en las que es necesaria la AVD se realizan en distintas condiciones de contraste entre el estímulo y el fondo por donde se desplaza.

- El tiempo de exposición del estímulo. A menor tiempo de exposición menor AVD (Elkin, 1962; Miller, J.W., 1959).

- Velocidad del estímulo. La AVD disminuye a media que aumenta la velocidad del estímulo (Ludvigh y Miller, 1958). Como ya se ha indicado anteriormente, no se ha establecido de forma unánime a partir de que velocidad se observa esta disminución. Mientras algunos investigadores defienden que es a partir de 25-30º/seg. (Brown, B., 1972a) otros indican velocidades de hasta 120º/seg. (Weissman y Freeburne, 1965). Estas variaciones tan notables hacen sospechar que, al margen de las diferencias metodológicas en los procedimientos de medición, posiblemente también haya divergencias importantes entre sujetos. Así lo proponen Sanderson y Whiting (1974), según cuyas investigaciones existen variaciones entre individuos en lo que respecta a este concepto y clasifica a los sujetos en resistentes a la velocidad y susceptibles a la velocidad. Los sujetos susceptibles a la velocidad experimentarían un deterioro importante en la AVD cuando aumenta la velocidad del estímulo. Contrariamente, los sujetos resistentes a la velocidad sufren un menor deterioro de la AVD.
- La edad. La AVD es una función visual que empeora con la edad (Ishigaki y Miyao, 1994; Long y Crambert, 1990; Wist, Schrauf y Ehrenstein, 2000).
- Género. Existen varios estudios que señalan que los hombres tienen mejor AVD que las mujeres. (Burg y Corpin, 1966; Ishigaki y Miyao, 1994; Millsagle 2004), aunque no se determinan las causas que puedan producir tales diferencias. Contrariamente, Quevedo (2007) no encontró diferencias significativas ligadas al género ni en estudiantes sedentarios ni en deportistas de élite.
- Diámetro pupilar. La dilatación pupilar puede afectar negativamente en la conducción produciendo deslumbramiento. Recientemente se ha valorado como el tamaño pupilar puede modificar la AVD. De los resultados obtenidos se desprende que el diámetro pupilar es un factor que afecta en la medición de la AVD, de manera que a mayor diámetro pupilar mejor AVD (Ueda et al. 2006 y 2007).
- El entrenamiento visual. Son varios los estudios que han demostrado que la AVD es una habilidad visual que puede mejorar con el entrenamiento visual (Long y Riggs, 1991; Long y Rourke, 1989; Ludvigh y Miller, 1958). Según Long y Riggs (1991) tanto atletas como la población sedentaria se podían beneficiar de la mejoría de la AVD. Long y Rourke (1989) encontraron que los efectos beneficiosos en la AVD con el entrenamiento visual se daban sobre todo en aquellos sujetos que inicialmente tenían peor AVD.
- El rendimiento deportivo. Diversos estudios concluyen que los deportistas tienen mejores habilidades visuales (entre las que se encuentra la AVD) que la población

sedentaria (Ishigaki y Miyao, 1993; Melcher y Lund, 1992; Millslagle, 2000; Quevedo, 2007; Stine et al., 1982).

De manera más específica, se podría afirmar que los deportistas que requieren de la resolución de detalles a altas velocidades gozan de mejores prestaciones de AVD. Adicionalmente, dentro del contexto del rendimiento deportivo, parece que los deportistas de élite son los que tienen mejores habilidades visuales (Banks et al. 2004).

- Consumo de drogas. El consumo de drogas produce una disminución en la AVD, como así lo confirman varios estudios.

Adams et al. (1975) constataron que el consumo de marihuana reduce la AVD.

Schmäl et al. (2000) comprobaron que la ingesta de etanol no producía cambios en la AVE pero sí en la AVD. Este hecho estaría explicado por el efecto negativo que el alcohol produce sobre el sistema oculomotor.

Honegger, Kampschulte y Klein (1970) observaron que la AVD se veía significativamente reducida durante la difusión del alcohol por el organismo, que la mayor caída de la AVD se producía a la media hora de haber bebido y en algunos sujetos esta disminución era apreciable con niveles en alcohol en sangre de tan sólo 0,02.

- La fatiga. Varios estudios han comprobado que la fatiga de diferente naturaleza puede producir un aumento en la AVD o no producir ningún efecto. Más adelante se desarrolla con más detenimiento, puesto que representa el factor estudiado en la presente investigación.

#### 5.4. Evolución de la agudeza visual dinámica.

Diversos son los estudios que señalan el pleno desarrollo de la AVD entre los 15 y 20 años.

Ishigaki y Miyao (1994) demostraron que la AVD se desarrolla rápidamente entre los 5 y 15 años de edad, alcanzando a esta edad su nivel máximo. Sería a partir de los 20 años cuando se produce una disminución lenta y constante de la AVD que se haría más patente en la década de los 50 (Wist et al, 2000). Los resultados de estos autores también apuntan que la AVD permanece relativamente constante hasta la mitad de la vida aunque con pérdidas ya observables a partir de los 20 años.

Según Williams (1983) (citado por Gallahue y Ozmun, 2006) la AVD se refina progresivamente hasta alcanzar un nivel máximo a los 12 años.

Wist et al. (2000) evaluaron la AVD con diferentes niveles de contraste en 400 sujetos con edades comprendidas entre los 4 y 24 años. Encontraron que el mayor rendimiento en la AVD para todos los niveles de contraste se producía a los 15 años de edad.

Esta disminución en la AVD experimentada con la edad puede deberse a varias condiciones que se presentan con el envejecimiento, la reducción de la cantidad de luz que llega a la retina da lugar a una disminución de la agudeza visual y de la sensibilidad al contraste (Long y Crambert, 1990; Wist et al., 2000), deterioro fisiológico de los movimientos oculares (Eby et al., 1998) o déficits de atención y procesamiento de la información (Wist et al., 2000).

Los datos expuestos apuntan que la AVD madura después que la AVE. Existe un amplio consenso en afirmar que el pleno desarrollo de la AVE en ausencia de patología se alcanza entre los 5 y 6 años de edad (Birch et al. 1983; Rosner 1982 citado por Matilla y Bueno del Romo 2005; Skoczenski y Norcia 2002; Teller 1983). Por tanto la maduración más tardía de la AVD parece ser debida a la consolidación y efectividad de los movimientos oculares. Scheiman y Wick (1996) señalan que el desarrollo oculomotor, a pesar de que algunas investigaciones apunten la existencia de movimientos oculares normales a los dos años de edad, parece ser considerablemente más lento de modo que progresa a lo largo de los primeros años de escuela elemental y clínicamente no se observa un desarrollo pleno de los mismos hasta aproximadamente los 12 años de edad, posiblemente debido a factores cognitivos y de atención. En 1980, Morris (citado por Gallahue y Ozmun, 2006) apuntó que los niños de entre 5 y 6 años de edad pueden seguir con precisión objetos en movimiento en un plano horizontal y, sin embargo, hasta que no tienen 8 ó 9 años no pueden seguir con efectividad estímulos que se mueven describiendo un arco. Los hallazgos de Birbaum (1994), también señalan que los movimientos oculares verticales y oblicuos son adquiridos con posterioridad.

##### 5.5. Agudeza visual dinámica y conducción deportiva.

En el ámbito del deporte, la habilidad de juzgar objetos móviles es una acción crítica en aquellas disciplinas en las que, o bien los estímulos se desplazan a altas velocidades o existe un movimiento relativo entre objeto y sujeto (como son los deportes de balón, tenis, esquí alpino, ciclismo, automovilismo y motociclismo) y es necesario una perfecta resolución para poder anticipar la respuesta más adecuada. Son numerosos los estudios que han constatado que los deportistas que realizan este tipo de especialidades deportivas presentan mejor AVD que el resto de la población (Ishigaki y Miyao, 1993; Millslagle, 2000; Quevedo, 2007). También se ha propuesto que la AVD es una habilidad visual entrenable (Long y Riggs, 1991; Long y Rourke,

1989; Ludvig y Miller, 1958). Estas consideraciones hacen que la medición y valoración de la AVD pueda ser beneficiosa en el manejo optométrico de aquellos deportistas en los que las demandas visuales exijan de una buena AVD.

Desde hace varias décadas, se ha investigado la relación entre diferentes atributos visuales y el rendimiento en la conducción con el objetivo de determinar los requerimientos visuales necesarios en la conducción y poder desarrollar test de visión más efectivos (Noy, 2006). Algunos de estos estudios han medido distintas habilidades visuales para poder establecer correlaciones entre el rendimiento en la conducción y los accidentes y sanciones de tráfico. Se ha concluido que la AVD es un buen predictor del rendimiento en la conducción, en términos de siniestralidad (Burg, 1968; Shinar, 1977 citado por Noy 2006).

Burg (1966) encontró que existía una relación positiva entre una buena AVD y una buena conducción. También concluyó que la AVD era la habilidad visual más estrechamente relacionada con el rendimiento de la conducción. Shinar (1977) (citado por Noy, 2006) realizó una batería de exámenes visuales entre los que se encontraba la AVD y estableció que correlacionaba significativamente y de forma inversa con los accidentes de tráfico.

## 5.6. Fatiga y agudeza visual dinámica.

A continuación se hace una revisión de los conocimientos que existen hasta la fecha de los efectos que puede tener la fatiga sobre la AVD, dedicándosele mayor extensión dado que representa el objetivo de esta investigación.

Existe un amplio consenso en afirmar que la fatiga muscular contribuye a una respuesta motora del organismo disminuida e inexacta (Girad y Millet, 2009; Johnston et al. 1998).

A nivel visual, son escasos los estudios que han evaluado el efecto de la fatiga sobre las distintas habilidades. En los efectos que puede producir la fatiga sobre la función visual se debe considerar que:

- La función visual es medible a través de diferentes habilidades visuales que pueden ser independientes entre sí. Esto dificulta el análisis comparativo de resultados.
- La fatiga puede ser consecuencia de diferentes agentes como puede ser la privación de sueño, la actividad física o mental. Esto puede dar lugar a diferentes intensidades o niveles de fatiga. Además, el nivel de fatiga que presenta cada sujeto varía en función de su condición física (Sillero, 2006).



Bard y Fleury son autores de varias investigaciones en este campo. En un estudio realizado en 1978, hallaron que el agotamiento físico no producía variaciones en el campo visual y en tareas de anticipación. En 1981, investigan los efectos de diferentes tipos de fatiga física en tareas de detección visual. De sus resultados se concluye que no se produce una disminución en este tipo de tareas. Por último, en 1990, encontraron que la visión periférica se veía mejorada después de realizar distintos tipos de esfuerzo físico (aeróbicos y anaeróbicos) (Bard y Fleury, 1978, 1981,1990).

Arteaga, Cárdenas y Delgado (2000) comprobaron que la fatiga debida a esfuerzos físicos de tipo anaeróbico no producía un perjuicio en la visión periférica vertical y horizontal.

En cuanto a la AVE, se ha observado que aumenta después de realizar un ejercicio físico (Vlahov 1977; Watanabe, 1983; Whiting y Sanderson, 1972).

Otra función visual que se vio mejorada después de realizar un esfuerzo físico (ciclismo y footing) fue la sensibilidad al contraste (Woods y Thomson, 1995).

Centrándonos en la AVD, los resultados obtenidos en la bibliografía consultada no van en la misma línea:

Behar, Kimball y Anderson (1976) observaron que en un grupo de pilotos de aviación, los valores obtenidos en la AVD correlacionaban modestamente con la fatiga inducida (durante 5 días, volaban durante 12 horas y dormían 3 horas y media). La AVD fue medida varias veces al día utilizando dos velocidades. Para la velocidad de 25º/seg las diferencias en la AVD no resultaron significativas pero si lo fueron para la velocidad de 40º/seg.

En otra investigación realizada por Arteaga, Torre y Delgado (2002) se comprobó que el esfuerzo físico anaeróbico no tenía ningún efecto sobre la AVD y los movimientos oculares.

Du Toit et al. (2006) evaluaron a través de una batería de pruebas, el rendimiento visual motor en jugadores profesionales de cricket después de realizar un ejercicio físico. Concluyeron que el ejercicio físico producía un aumento de la conciencia visual y coordinación motora, sin embargo analizando los resultados obtenidos con el Rotador de Pegboard (evaluación de la AVD) se observa que no hubo variaciones importantes.

Contrariamente, Millslagle et al. (2005) concluyeron que la AVD se veía mejorada después de realizar distintas cargas de intensidad de ejercicio en bicicleta.

## 6. Frecuencia crítica de fusión.

La frecuencia crítica de fusión (FCF) se define como la frecuencia de un estímulo luminoso a partir de la cual es interpretado como una sensación estable y continua (Solé et al., 2004).

Constituye una medida que analiza aspectos temporales en la percepción visual e informa de la respuesta del sistema visual en la percepción de un estímulo de corta duración que se repite (Romero, García y García, 1996).

Cuando un estímulo luminoso se presenta a una frecuencia inferior al valor de FCF, éste es percibido como intermitente y parece que parpadea. Sin embargo, si el estímulo luminoso se enciende y apaga a una frecuencia superior a la FCF, el efecto del parpadeo desaparece y es percibido como unitario.

Este fenómeno indica que se ha alcanzado el límite de la capacidad de resolución temporal del sistema visual (McKendrick y Johnson, 2004), siendo la fusión temporal de luces que se produce el resultado del solapamiento del estímulo con el periodo de persistencia del estímulo anterior (Romero, et al., 1996).

La unidad de medida la constituyen los ciclos/s o Hz (por ejemplo, a 1 c/s la luz se apaga o enciende en 1 segundo).

La percepción fusionada de ciertos estímulos intermitentes supone un beneficio en tareas cotidianas, ya que se elimina la sensación de parpadeo al mirar la pantalla de un televisor u ordenador, tubos fluorescentes o al ver una película en el cine.

### 6.1. Factores implicados.

La FCF es una medida variable por distintos factores que obedecen tanto a características del observador como del estímulo, a lo largo de los años se ha valorado con mayor entusiasmo su dependencia con los siguientes aspectos:

- La luminancia del estímulo. Está considerado como el parámetro de mayor influencia e importancia en la evaluación de la FCF (Artigas et al., 1995). De manera general, la FCF aumenta a medida que lo hace la luminancia del estímulo.

De los estudios realizados por Ferry (1892) y Porter (1902) (citados por Artigas et al., 1995), se desprende que la FCF es directamente proporcional al logaritmo de la luminancia media del estímulo. Esta relación es conocida como la Ley de Ferry-Porter:

$$FCF = a \log L + b$$

Donde  $a$  y  $b$  son valores que dependen de si se trata de visión fotópica o escotópica y del tamaño del test.

Para altas luminancias (superiores a 1000 td) ya no se observa un aumento de la FCF y alcanza un codo decreciente del mismo modo que se observa con la AV (Artigas et al., 1995).

Según la ley de Ferry-Porter se puede decir que las luces débiles se fusionan antes (menor FCF) que las más intensas.

Otra consecuencia práctica de la relación existente entre la FCF y la luminancia es que disminuyendo la luminancia del monitor del ordenador se puede atenuar el posible parpadeo de la pantalla (McKendrick y Johnson, 2003).

Se ha comprobado que la Ley de Ferry-Porter se cumple a pesar de los posibles cambios del tamaño del estímulo y tanto en visión central como periférica (Tyler y Hamer, 1990).

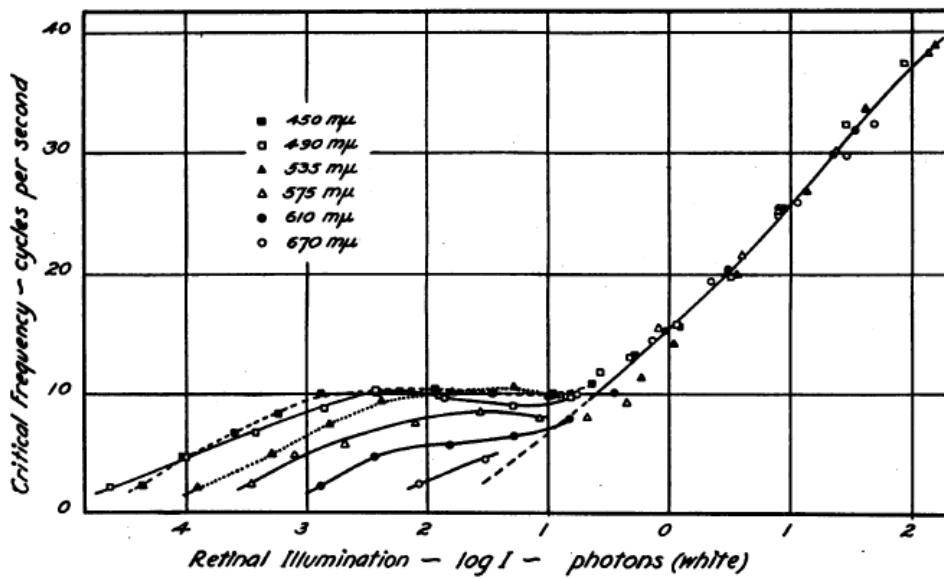
- El tamaño del estímulo. En general cuanto mayor es el tamaño del estímulo mayor es la FCF (Hecht y Smith, 1936). Esta relación se cumple para un amplio rango de luminancias y el aumento es de forma lineal con el algoritmo del área del estímulo según la Ley de Granit-Harper (Granit y Harper, 1930):

$$FCF = c \log A + d$$

Donde  $A$  es el área del estímulo, y  $c$  y  $d$  son constantes dependientes de las condiciones de observación.

Para tamaños de estímulos superiores a  $6^\circ$  y bajas luminancias no se cumple la Ley de Granit-Harper (Artigas et al., 1995).

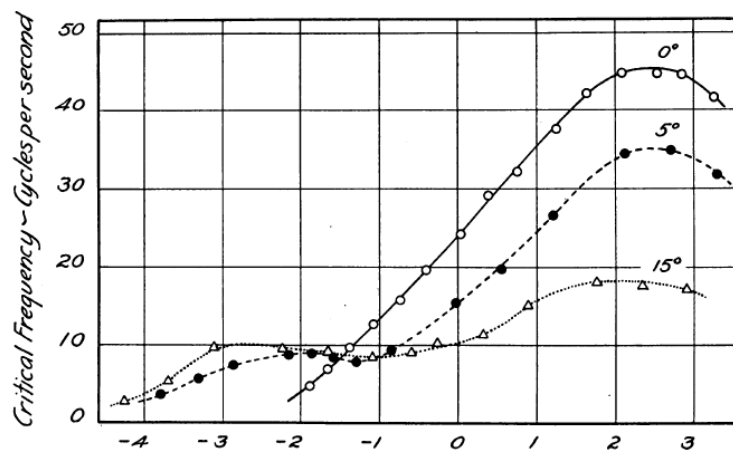
- Cromatismo del estímulo. Para luces cromáticas en visión fotópica, la FCF es independiente de la longitud de onda del estímulo y cumple la Ley de Ferry-Porter. Sin embargo, en condiciones de visión escotópica, si existe una dependencia respecto a la  $\lambda$  del estímulo, de manera que las  $\lambda$  larga (rojos) tienen una menor FCF que para  $\lambda$  corta (azules). A continuación se muestran los resultados obtenidos por Hecht y Verrijp (1933).



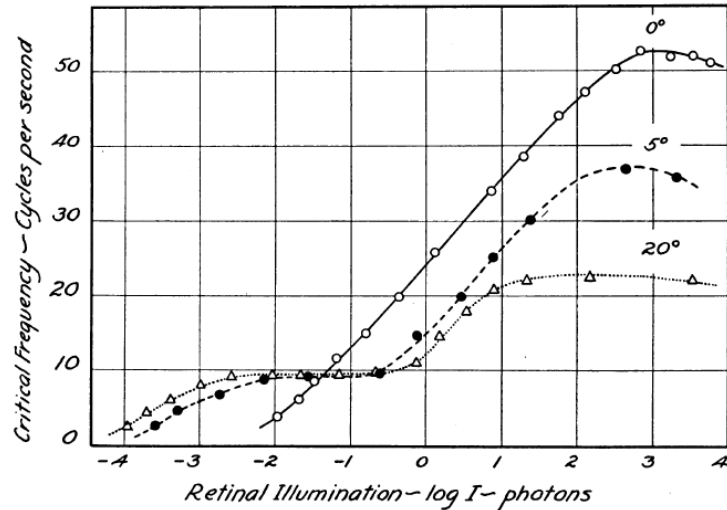
FCF en función de la iluminación para diferentes longitudes de onda del estímulo. Extraído de Hecht y Verrijp (1933).

Otros investigadores señalan que la independencia de la FCF frente a la  $\lambda$  del estímulo no se alcanza hasta luminancias de  $800 \text{ cd/m}^2$  (Bornstein y Marks, 1972; Aguilar et al., 1983).

- Excentricidad del test. Hecht y Verrijp (1933) estudiaron el efecto de la localización retiniana del estímulo sobre la FCF. En su investigación utilizaron un estímulo con tamaño de  $2^\circ$  y midieron la FCF en la fóvea y a diferentes excentricidades. Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes gráficas.



Datos obtenidos por Hecht S., muestran la relación entre la FCF y el log de la iluminación para luz blanca en la fóvea y a excentricidades de  $5^\circ$  y  $15^\circ$ . Extraído de Hecht y Verrijp (1933).



Datos obtenidos por Verrijp, C.D., muestran la relación entre la FCF y el log de la iluminación para la luz blanca en la fóvea y a excentricidades de 5° y 20°. Extraído de Hecht y Verrijp (1933).

Del análisis de los datos se observa que a niveles de luminancia fotópicas, la FCF es mayor en la fóvea que en la extrafóvea. Sin embargo, a niveles de luminancia mesópicas y escotópicas ocurre lo contrario, la FCF aumenta a medida que nos alejamos de la fóvea. Por tanto a bajas luminancias el parpadeo de una fuente de luz se observa mejor en la periferia que en la fóvea.

No obstante, es importante valorar de forma conjunta el tamaño del test y la excentricidad, ya que es posible percibir el parpadeo de un estímulo grande (monitor de un ordenador) cuando se proyecta en retina periférica y no hacerlo cuando mantenemos su fijación.

A continuación se citan otros factores o características del observador que pueden interferir en la FCF.

- La edad. La FCF disminuye con la edad (Bernardi, Costa y Shiroma, 2007; Hosokawa et al., 1997; Misiak 1947 y 1951; Simonson, Enzer y Blankstein, 1941). Esta disminución parece estar mediada por la opacidad y amarilleamiento del cristalino, así como por la pérdida de reflejos que se produce con la edad.

- La visión monocular. En estas condiciones, la FCF es significativamente inferior que en condiciones binoculares. Esto indica una mayor tensión y fatiga ocular al utilizar un solo ojo. (Ali y Amir, 1991).
- La nicotina. Fumar produce un aumento en la FCF (Larson, Finnegan y Haag, 1950; Waller y Levander, 1980). Se ha observado un aumento en la FCF tras fumar el primer cigarrillo después de haber estado en periodo de abstinencia (por ejemplo por la noche). Este efecto se reduce a medida que se fuman más cigarrillos (Larson et al., 1950).
- El ayuno. Produce una disminución significativa en la FCF (Ali y Amir, 1989).
- El alcohol. La literatura ofrece conclusiones diferentes sobre los efectos que puede producir la ingesta de dosis moderadas de alcohol sobre la FCF. Algunos autores (Carpenter, 1962; Hill, Powell y Goodwin, 1973) defienden que dosis de alcohol en sangre de aproximadamente 0,08 producen una disminución en la FCF. Sin embargo, Jansen, de Gier y Slangen, (1985) no hallaron cambios en la FCF tras la ingesta de esta sustancia.
- El entrenamiento. Recientemente Seitz et al. (2006) han comprobado que el entrenamiento aplicado a la detección de la dirección de un estímulo en movimiento, producía aumentos de un 30% en la FCF.
- La fatiga. Ciertos niveles de fatiga pueden producir una disminución de la FCF, este hecho será ampliado posteriormente en un apartado con más detenimiento.

## 6.2. Aplicaciones.

La medición de la FCF ha sido usada como índice del estado de activación y funcionalidad del sistema nervioso central a nivel cortical y retiniano (Blanco, 2004; McClelland, 1987; Sharma, 2002; Simonson y Enzer, 1941 citado por Larson et al., 1950). Su aplicación como detector de la fatiga será comentada más adelante.

A nivel de la retina y nervio óptico, se ha comprobado que la FCF está también mediada por neuronas procedentes de la vía visual magnocelular que están especializadas en el procesamiento del movimiento y de frecuencias temporales altas (Colby, Duhamel y Goldberg

1993; Lisberger y Movshon, 1999). En relación a esto último, se ha constatado que las células ganglionares responden a frecuencias de hasta 100 Hz (Lee et al., 1990).

Varios investigadores han hallado una fuerte correlación entre la FCF y distintas medidas de inteligencia (Ali et al. 1994; Halstead, 1947 citado por Seitz et al. 2006; Loranger y Misiak, 1959, Tanner, 1950 citado por Loranger y Misiak, 1959; Zlody, 1965).

La FCF tiene aplicaciones en medicina y se ha sugerido su valoración como ayuda en la diagnóstico de distintas patologías como el alzheimer, encefalopatía hepática o la esclerosis múltiple (Curran y Wattis, 2000; Ramírez et al., 2006; Sandry, 1963; Sharma et al., 2007). También se han encontrado valores bajos de FCF en pacientes con lesiones del lóbulo frontal (Halstead, 1947 citado por Seitz et al. 2006).

A nivel ocular, se ha observado que la FCF no parece deteriorarse con la degradación de la imagen retiniana cuando es debida al desenfoque o a opacidades de medios (Bueno del Romo, Douthwaite y Elliot ,2005; Lachenmayr y Gleissner, 1992; Shankar y Pseudovs, 2007). Este fenómeno es consecuencia del hecho que la FCF es una medida de resolución temporal que no espacial como la AVE (Bueno del Romo et. al, 2005). Por ello la medida de la FCF ha sido empleada como indicador en la detección precoz de algunas patologías con afectación retiniana como son algunas maculopatías, retinopatías, neuritis óptica y glaucoma (Al Khamis y Easterbrook, 1983; Bueno del Romo et al., 2005; Jacobson y Olson, 1991; Jünemann et al., 2000; Velten et al. 1999; Vianya-Estopà et al. 2004; Woung, Wakakura y Ishikawa, 1993). En relación a la disminución en la FCF en presencia de lesiones retinianas acompañadas de opacidades de medios, se ha observado que este valor puede proporcionar información sobre la AV postcirugía en pacientes con cataratas (Bueno del Romo et al. 2005; Shankar y Pesudovs, 2007). Finalmente comentamos la incorporación de la FCF en distintas técnicas perimétricas, la resistencia de este valor en presencia de un empeoramiento de la imagen retiniana debida al desenfoque o a la opacidad de medios, indican que estas técnicas perimétricas pueden ser más sensibles en la detección de daños neuronales en aquellos sujetos que presenten los factores que contribuyen a un empeoramiento de la imagen retiniana previamente comentados (Lachenmayr y Gleissner, 1992). También ha resultado útil en la detección de pérdidas incipientes del campo visual en pacientes con glaucoma (Matsumoto et al., 2006; Rota-Bartelink, 1999).

### 6.3. Relación con la fatiga.

La medición de la FCF es un valor útil y objetivo en la evaluación de la fatiga (física o mental) y el estrés (Grandjean, 1979; Murata et al., 1991; O'Leary, Rosenbaum y Hughes, 1978; Saito y Matsumoto, 1988; Sato et al., 1995; Seki y Hugon, 1976).

Se han observado reducciones en la FCF de 0,5 a 6 Hz como consecuencia de la fatiga mental o estrés que se produce en el trabajo (Grandjean, 1979).

Generalmente, cuando se produce la excitación del SNC como consecuencia de cargas de trabajo intensas pero tolerables, la FCF aumenta. Sin embargo, cuando dicha excitación rebasa ciertos niveles de tolerancia, se produce una protección del SNC mediada por sistemas de inhibición del organismo que dan lugar a una disminución de la FCF. Esta sobreexcitación puede ser inducida por cargas de trabajo excesivas o a una estimulación demasiado intensa o prolongada (González, 2003; Martínez, 2001).

La medición de la FCF y su relación con la fatiga se ha aplicado a diferentes campos de investigación.

En el ámbito de la medicina laboral las aplicaciones son varias:

- La disminución en la FCF, después de realizar una jornada laboral, ha sido usada como medida objetiva que detecta la fatiga en trabajadores de la metalurgia (Chen et al. 2003), operadores de control de calidad (Saito et al., 1972), controladores aéreos (Grandjean, 1970; Grandjean y Wotzka, 1971) o anestesiistas (Kawabata et al., 1993; Sato et al., 1995).
- A través de la medida de la FCF se ha estimado como afecta la fatiga en distintos colectivos profesionales que trabajan realizando turnos nocturnos o que realizan largas jornadas laborales en las que hay una reducción en las horas de sueño como policías (Smith y Mason, 2001), trabajadores de prensa escrita (Fujii, Miyoshi y Fukui, 1996), marineros (How et al., 1994), enfermeras (Marziale y Rozestraten, 1995), controladores aéreos (Costa, 1993) o trabajadores de la industria (Srihongchai y Intaranont, 1996).
- En relación a estos conocimientos, se ha evaluado qué efectos beneficiosos producen ciertas sustancias (como el modafinil, la cafeína o la tauritina) sobre la FCF para poder superar la fatiga (Li et al., 2003; Smith y Mason, 2001; Zhang et al., 2004).
- Otra aplicación de la relación entre la medida de la FCF y la fatiga, ha sido el estudio del posible estrés que produce trabajar con pantallas de visualización de datos (PVDT), (Misawa y Shigeta, 1986; Murata et al., 1991; Murata et al., 1996). De sus conclusiones



se desprenden medidas ergonómicas que pueden aliviar la fatiga visual resultante del uso de estos dispositivos.

Takahashi et al. (2001) evaluaron aspectos ambientales relacionados con la iluminación y el ruido mientras se realizaban tareas con PVDT. Encontraron que se producía un aumento en la fatiga y disminución en la FCF con altas luminancias y ruidos de 70 dB.

Misawa, Shigeta y Nojima (1991) sugieren la conveniencia de jugar menos de 60 minutos diarios con PVDT para prevenir posibles efectos negativos en la salud de los niños.

Misawa y Shigeta (1986) comprobaron que se producía una disminución más elevada en la FCF cuando se trabajaba con pantallas de contraste negativo.

Misawa, Yoshino y Shigeta (1984) proponen que para reducir la fatiga que producen las tareas con PVDT no se debería trabajar de forma continuada durante más de 60 minutos con estos dispositivos y aconsejan la realización de pequeños descansos.

Según Kumashiro, Mikami y Hasegawa (1984) los valores en la FCF tienden a disminuir a los 30 minutos de empezar a trabajar con PVDT, siendo la disminución más significativa a partir de los 60 minutos.

### 6.3.1. Aplicaciones en el contexto deportivo.

En el ámbito del deporte, la medición de la FCF ha sido utilizada para controlar el nivel de activación y fatiga del sistema nervioso central que comportan las cargas de entrenamiento a los deportistas (Cruz y García, 1991). Como Solé et al. (2004) informan, el control del entrenamiento constituye un elemento más del proceso del entrenamiento deportivo. En la actualidad se utilizan diversas medidas que llevan a un control más amplio y preciso de las cargas de entrenamiento que se aplican (pulsómetros, analizadores de ácido láctico, etc...).

Un incremento de la FCF se relaciona con la activación del SNC y un descenso superior al 5% respecto al valor basal, con su fatiga (Martínez, 2001). Actualmente se considera que pérdidas próximas al 10% reflejan estados extremos de agotamiento y una profunda fatiga generalizada (Barrios et al., 2003). La disminución de la FCF sugiere una reducción en el procesamiento de la información (Li et al., 2004). En relación a la posible activación del SNC que se produce hay que recordar que éste es el principal responsable de la programación, regulación y control de los movimientos técnicos (Solé et. al, 2004) y, por tanto, es vital para la coordinación motora, elemento clave en el rendimiento deportivo.

El análisis de este valor puede ayudar a conocer si el deportista presenta un nivel óptimo de activación para obtener el máximo rendimiento y evitar el estrés físico o mental que puede suponer el entrenamiento y la competición.

En cuanto a la validación de las cargas de entrenamiento, la evaluación de la FCF constituye una herramienta de trabajo útil ya que una mejora en esta medida indica un aumento en la activación del sistema nervioso como resultado de la actividad muscular que se logra con una carga de entrenamiento bien planificada y se estará evitando un nivel de fatiga no deseable (Martínez, 2001).

A continuación se presentan los resultados que existen en cuanto a la FCF referida a distintos tipos de ejercicio físico. Las experiencias científicas reflejan la variabilidad de la FCF con el esfuerzo que supone el ejercicio físico (Solé et al., 2004), de modo que los resultados que se obtienen hay que relacionarlos con la tolerancia al esfuerzo que suponga la realización de cierto ejercicio físico.

Solé et al. (2004) comprobaron que distintas cargas de entrenamiento relacionadas con esfuerzos físicos anaeróbicos producían un aumento en la FCF. Según Urgellés (1985) cuando el esfuerzo físico realizado llega a la anaerobiosis el ácido láctico aumenta y la FCF disminuye como resultado de la inhibición central que se produce a nivel de la formación reticular. La formación reticular es la encargada de controlar el grado de alerta, atención y la disposición a la acción del organismo (Grandjean, 1979) y su inhibición supone un sistema de defensa del organismo. Martínez Mesa (2000) evaluó la FCF en un grupo de nadadores de élite, encontrando también una disminución de la FCF cuando la actividad natatoria era altamente anaeróbica. El autor atribuye estos resultados al tipo de fatiga que comporta este tipo de carga física.

En el caso del motociclismo deportivo, el esfuerzo físico que se realiza es del tipo aeróbico, y siempre que estas cargas físicas aeróbicas sean toleradas se produce un aumento en la FCF como resultado de la activación del SNC que se origina al iniciar el ejercicio físico como así lo confirman los resultados obtenidos por Davranche y Audiffren (2004), Grego et al, (2005), Maehashi y Taketa (1996), Solé et al. (2004), Urgellés (1985). No obstante también se ha observado que el ejercicio aeróbico sub-maximal no produce cambios en la FCF (Doucham-Riboux et al. 1989). La fatiga experimentada por el organismo como consecuencia del ejercicio físico prolongado hasta el agotamiento también ha sido evaluada con la medida de la

FCF, de manera que un aumento en este parámetro es indicativo de tolerancia (Davranche y Pichon, 2005; Godefroy et al. 2002; Presland, Dowson y Cairns, 2005).

También disponemos de los siguientes hallazgos:

Blanco (2004) tampoco encontró variaciones en la FCF durante el entrenamiento y competición de deportes de equipo (baloncesto y balonmano).

Martínez Mesa (2008) comprobó que una carga de entrenamiento bien planificada en judocas producía un aumento en la FCF. Cruz y García (1991) también observaron un aumento significativo de la FCF después de la realización de combates en judocas.

Por último, citar que Solé et al. (2004) no encontraron diferencias estadísticamente significativas en el nivel de activación de la FCF entre esfuerzos aeróbicos y anaeróbicos concluyendo que en todos los esfuerzos físicos que plantearon, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el nivel de activación pre y postejercicio reflejando un aumento de la FCF.

## PARTE EXPERIMENTAL

---

### 7. Objetivos.

1. Observar la evolución de la Agudeza Visual Dinámica en condiciones de alto y bajo contraste en un grupo de motociclistas de élite durante la realización de una competición de resistencia de 24 horas.
2. Analizar y relacionar mediante la evolución de la FCF los niveles de activación y/o fatiga del SNC de los pilotos en las distintas fases temporales de la prueba.
3. Valorar las posibles relaciones entre valores de FCF y AVD a lo largo de la prueba

### 8. Hipótesis.

En relación a los estudios previos (Arteaga et al., 2002; Behar et al., 1976; Davranche y Audiffren, 2004; du Toit et al., 2006; Grego et al., 2005; Maehashi y Taketa, 1996; Solé et al., 2004; Urgellés, 1985) podemos plantear que:

1. El ejercicio físico aeróbico inducido por este tipo de competición no ocasionará cambios estadísticamente significativos en la AVD de los pilotos a lo largo de la prueba.
2. En cuanto a la FCF, y teniendo en cuenta el nivel de capacidad física y resistencia de los motoristas que participaron en el estudio, no se observará un deterioro estadísticamente significativo de este valor.
3. Por último, aunque desconocemos la existencia de estudios que hayan evaluado conjuntamente estas dos habilidades visuales, creemos que AVD y FCF presentarán un patrón de cambio similar o paralelo a lo largo de la prueba.

## 9. Método.

### 9.1. Participantes.

En la medición de la AVD y FCF participaron voluntariamente diez pilotos nacionales e internacionales de élite con una edad media de  $28 \pm 6$  años. Los participantes debían acreditar una licencia especial para competiciones que en España son concedidas por las distintas Federaciones de Motociclismo de cada comunidad autónoma. Adicionalmente el nivel deportivo de los participantes vino determinado por un tiempo de corte que fue de 2'06" por vuelta.

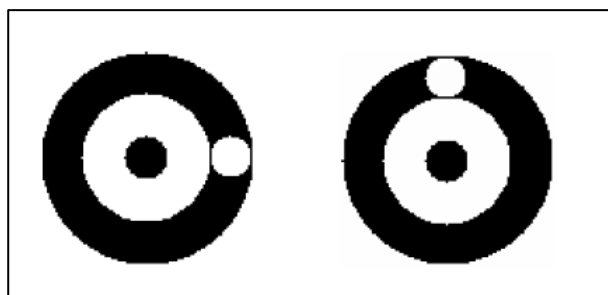
### 9.2. Materiales.

Para la valoración de la AVD se utilizó el programa informático DinVA 3.0. (Quevedo, 2007) con velocidad máxima, dos contrastes y trayectoria diagonal. P-IV 1200 MHz con 256 Mb de RAM, cable alargador de teclado, pantalla con resolución espacial de 1024x768 píxeles y tasa de refresco de 100Hz.

Para la medida de la FCF se utilizó el Analyser flicker fusion 501 B (Lafayette).

### 9.3. Estímulos.

En la prueba de AVD, el programa DinVA.3.0., utiliza el anillo-disco de Palomar (Palomar, 1991) que puede presentarse en ocho orientaciones posibles, expresadas en términos de la *Rosa de los vientos* (N, S, E, W, NE, NW, SE y SW). Estos anillos se desplazan a una velocidad de 0.503 m/seg, 2 contrastes figura-fondo equivalentes a 0.997 (alto) y 0.13 (bajo) y trayectoria de ida y vuelta con dirección según la diagonal principal (a  $45^\circ$ ). En la siguiente figura se presenta el anillo-disco de Palomar.



Anillo-disco de Palomar, (Palomar, 1991).

En la medida de la FCF el estímulo luminoso empleado es un led de color rojo de longitud de onda de 650 nm e intensidad de 5,4 mcd que se sitúa centrado sobre una circunferencia de color blanco con diámetro de 30 mm e intensidad de 600 mcd. El estímulo luminoso subtiende un ángulo de 1,2º y el fondo subtiende 10º. El rango de frecuencias es de 10 a 100 Hz con intervalos de 0,5 Hz.

#### 9.4. Instalaciones.

Centre de Visió del CAR de Sant Cugat del Vallés

Box del Circuit de Catalunya d'Automovilisme de Montmeló.

### 10. Procedimiento.

Dos semanas previas a la Competición se hizo en el Centro de Alto Rendimiento de Sant Cugat del Vallés una reunión informativa en la que se explicó a los participantes los objetivos y particularidades del estudio, haciendo especial énfasis en los protocolos y funcionamiento de los diferentes test y aparatos.

El mismo día de la prueba, antes de su inicio se volvió a informar al participante sobre las características de la prueba y se le dieron oralmente las instrucciones que aparecen en el apartado de Anexos.

#### 10.1. Determinación de la AVD.

En la evaluación de la AVD, se realizó la medida con el optotipo universal de Palomar de máximo y mínimo contraste en orden aleatorio. Utilizamos un paradigma de detección con elección forzada entre 8 alternativas (para señalar la orientación del estímulo en movimiento) y el método psicofísico de los límites modificado (el tamaño del estímulo aumenta hasta determinar únicamente el límite inferior de discriminabilidad de la orientación). Cada serie estaba compuesta de diez presentaciones de los estímulos en cada uno de los cuales el sujeto evaluado debía indicar la posición de la apertura del estímulo, presionando la tecla correspondiente del teclado numérico.

## 10.2. Secuencia experimental en la medida de la AVD.

El participante u observador se sentaba ante el teclado situado a 2 metros de la pantalla del ordenador, con la mano preferida sobre el teclado numérico. Tras presentar las instrucciones oralmente (Ver Anexo A) se le pedía que observase la pantalla en blanco. El examinador presionaba el ratón del ordenador, y acto seguido, aparecía el estímulo desplazándose por la pantalla a 0.503 m/seg. En ese instante, empezaba a controlarse el tiempo que implica un incremento sucesivo del tamaño del estímulo cada 2.3 segundos. Así, al principio el estímulo era muy pequeño, pero iba aumentando progresivamente de tamaño, hasta hacerse lo suficientemente grande como para que el sujeto pudiera determinar hacia donde estaba orientada la apertura. En ese momento debía presionar la tecla correspondiente para que el programa verificase la exactitud de la respuesta y registrase el tiempo empleado que traduce en agudeza visual dinámica, dado que se conoce la velocidad (constante y predefinida), la distancia (2 metros) y el tamaño del estímulo (determinado por el tiempo de respuesta registrado).

La duración total de la prueba fue de aproximadamente 5 minutos en cada relevo.

## 10.3. Determinación de la FCF.

Para la medida de la FCF se empleó el método de “up and down”, definido por cuatro registros realizados alternativamente a partir de 20 Hz, con incrementos de 0,5 Hz hasta llegar a la FCF, y a partir de 60 Hz en sentido inverso hasta percibir el estímulo discontinuo.

## 10.4. Secuencia experimental en la medida de la FCF.

Tras presentar oralmente las instrucciones (ver Anexo B), el participante colocaba su frente de manera adecuada en el lugar destinado a este efecto y miraba binocularmente a través del dispositivo, mientras con la mano preferida sujetaba el pulsador. Se tomaron cuatro registros realizados de forma alternativa siguiendo la siguiente secuencia:

1º Fase UP: Se inicia el registro a partir de 20 Hz y cada vez que el piloto presiona el pulsador la frecuencia aumenta 0,5 Hz. En el momento que el piloto percibe el estímulo luminoso como continuo se registra dicha medida como la FCF.

2º Fase DOWN: Se inicia la toma con 60 Hz, a partir de los cuales se va disminuyendo progresivamente en 0,5 Hz. hasta llegar al valor de FCF, momento en que se percibe el estímulo luminoso de forma discontinua.

A continuación se repiten las fases 1 y 2.

Posteriormente se calculó la FCF como la media de los valores obtenidos.

La duración total de la prueba fue de aproximadamente 3 minutos.

En condiciones basales (60 minutos antes del calentamiento previo al inicio de la competición), se determinó la AVD y FCF. Posteriormente todos los pilotos repitieron los mismos test al finalizar cada uno de los relevos de conducción de una duración aproximada de una hora con periodos de descanso de 3 a 4 horas durante las 24 horas de competición.

## 11. Diseño estadístico.

En el análisis estadístico de las variables en estudio (AVD y FCF), para la actividad basal y la recuperación después de cada relevo aplicamos modelo estadístico descriptivo (medias, error típico, intervalos de confianza con sus límites superior e inferior), verificación de la normalidad con el test de Shapiro-Wilks y un modelo lineal general de medidas repetidas. Los niveles de significancia establecidos fueron de 0,05 tanto para la prueba de efectos intrasujetos e intersujetos y contrastes intrasujetos (modelo lineal), como para las comparaciones por pares basadas en las medias marginales estimadas y aplicando un ajuste para las comparaciones múltiples de Bonferroni.



## 12. Resultados.

Los valores medios obtenidos de AVD (m/s) en condiciones de alto contraste quedan reflejados en la tabla 1 y en condiciones de bajo contraste en la tabla 2.

AVD (m/s) Alto contraste	N	Media (m/s)	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Pre	10	,4938	,07757	,02586	,4342	,5534	,33	,58
Relevo1	10	,4887	,09154	,02895	,4232	,5542	,31	,64
Relevo2	10	,5068	,06626	,02095	,4594	,5542	,34	,58
Relevo3	10	,5254	,08738	,02763	,4629	,5879	,34	,62
Relevo4	10	,5045	,08529	,02697	,4435	,5655	,35	,60
Relevo5	10	,5060	,06342	,02006	,4606	,5514	,37	,60
Relevo6	5	,5532	,03990	,01784	,5037	,6027	,52	,62
Total	65	,5082	,07547	,00943	,4893	,5270	,31	,64

Tabla 1. Valores descriptivos de agudeza visual dinámica de alto contraste (AVD-AC) para la previa y después de cada relevo.

AVD (m/s) Bajo contraste	N	Media (m/s)	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Pre	10	,3268	,05801	,01934	,2822	,3714	,22	,42
Relevo1	10	,3038	,10845	,03429	,2262	,3814	,00	,37
Relevo2	10	,3129	,11705	,03702	,2292	,3966	,00	,41
Relevo3	10	,3403	,04249	,01344	,3099	,3707	,25	,39
Relevo4	10	,3268	,05004	,01582	,2910	,3626	,24	,42
Relevo5	10	,3068	,11368	,03595	,2255	,3881	,00	,40
Relevo6	5	,3432	,04499	,02012	,2873	,3991	,28	,39
Total	64	,3213	,08278	,01035	,3006	,3420	,00	,42

Tabla 2. Valores descriptivos de agudeza visual dinámica de bajo contraste (AVD-BC) para la previa y después de cada relevo.

Para la variable de Agudeza visual dinámica de alto y bajo contraste no se encontraron diferencias significativas entre las diferentes comparaciones por pares de las medias marginales del Pre y los relevos 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

La prueba de contrastes intrasujetos no mostró ningún modelo significativo. En la figura 1, se puede comprobar que los resultados de la AVD-AC y AVD-BC obtenidos por los pilotos al finalizar cada uno de sus relevos, siguen un patrón similar. Tras una ligera disminución en el primer control, se observa una tendencia de ascenso positivo de la agudeza visual, lo cual manifiesta una mejora a medida que va avanzando la prueba (relevos 2 al 3), aunque no sea significativa. A partir del relevo 4 y 5 hay una caída de la curva hasta que en el sexto control vuelve a experimentarse una mejora.

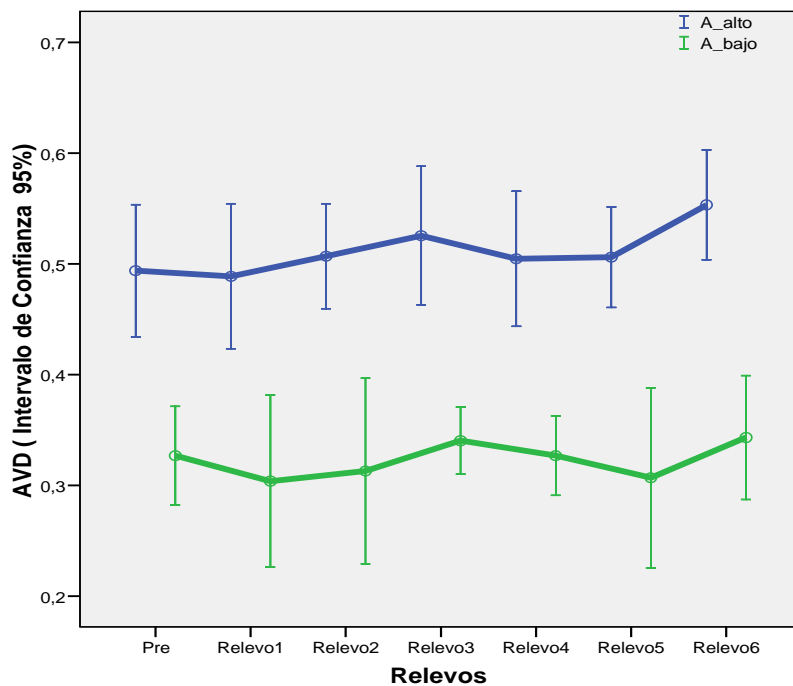


Figura1. Valores medios e intervalos de confianza de la agudeza Visual Dinámica (AVD) de alto y bajo contraste, basal y posterior a cada relevo de pilotos motociclistas (n=10) en la prueba de resistencia de 24horas del Circuit de Catalunya, 2008.

Con referencia a la variable de estudio FCF no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, entre las diferentes comparaciones por pares de las medias marginales del pre-test y los relevos 1, 2, 3, 4 y 5. El descenso observado de esta variable entre el Pre-test y el último relevo fue de 3,1%. Se considera que existe fatiga cuando el descenso es superior al 5% (Martínez, 2001). La prueba de contrastes intrasujetos mostró un modelo lineal que fue significativo al nivel de 0,02. En la figura 2, se observa una tendencia de ascenso positivo de la FCF, hasta el relevo 3, mientras que a partir del relevo 4 hasta el 5 hay una caída de la FCF aunque no es significativa.

Los resultados medios obtenidos de FCF quedan reflejados en la tabla 3.

FCF	N	Media (m/s)	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Pre	10	37,0188	3,17683	1,12318	34,3629	39,6746	32,13	40,55
Relevo1	10	37,5513	3,69788	1,30740	34,4597	40,6428	32,50	42,65
Relevo2	10	37,5400	4,12904	1,45984	34,0880	40,9920	32,53	43,45
Relevo3	10	37,6900	2,61869	,92585	35,5007	39,8793	34,53	41,33
Relevo4	10	36,8000	3,68834	1,30403	33,7165	39,8835	31,33	41,75
Relevo5	10	35,8963	3,50589	1,23952	32,9653	38,8272	29,28	40,90
Total	60	37,0827	3,36847	,48620	36,1046	38,0608	29,28	43,45

Tabla 3. Valores descriptivos de Frecuencia Crítica de Fusión (FCF) para la previa y después de cada relevo.

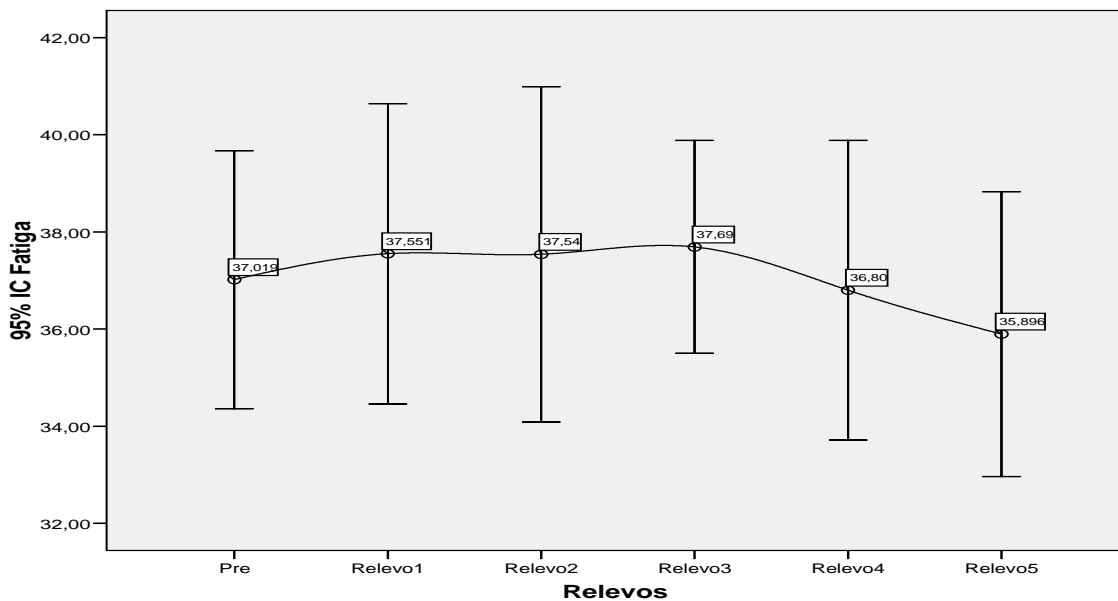


Figura 2. Valores medios e intervalos de confianza de la Frecuencia crítica de fusión de alto (FCF), basal y posterior a cada relevo de pilotos motociclistas (n=10) en la prueba de resistencia de 24 horas del Circuit de Catalunya, 2008.

Con referencia a la correlación entre los valores de AVD de alto y bajo contraste y FCF, se obtuvieron los siguientes resultados:

$$r_{AVD_{ac}-AVD_{bc}} = 0,762.$$

$$r_{AVD_{ac}-FCF} = -0,563.$$

$$r_{AVD_{bc}-FCF} = -0,232.$$

### 13. Discusión.

#### AVD

Tal y como esperábamos, los resultados obtenidos no mostraron diferencias estadísticamente significativas en la AVD en condiciones de alto y bajo contraste durante toda la prueba. A pesar de ello, a partir del segundo relevo se evidencia una ligera tendencia a la mejora de la AVD, especialmente en condiciones de alto contraste.

En el primer relevo se produjeron los valores más bajos tanto en alto y bajo contraste. En este punto hay que considerar que la medición se realizó aproximadamente a las cinco de la tarde del día 5 de julio del 2008 cuando la temperatura era de 30 grados. Estas condiciones meteorológicas considerablemente adversas podrían ser la causa o haber contribuido a la disminución de la agudeza visual dinámica. Resulta interesante comprobar que los resultados de AVD de alto y bajo contraste obtenidos por los pilotos al finalizar cada uno de sus relevos siguen un patrón similar que se evidencia en la alta correlación (superior al 75%) hallada entre los valores obtenidos en ambas condiciones. Ello nos llevaría a concluir que los diversos factores que influyen en las variaciones, afectaron de forma pareja en ambas condiciones de contraste.

Tal y como Fleury y Bard (1990) señalan, existen varias fuentes de confusión que dificultan poder consensuar el modo en que la fatiga afecta a la realización de distintas tareas visuales. Según estos autores se deben considerar los siguientes aspectos: si la fatiga es física y/o mental, la condición física de los sujetos, o la naturaleza de la tarea.

En la investigación llevada a cabo, podemos considerar que la condición física de los participantes es similar ya que todos los pilotos pertenecen a la misma categoría y la naturaleza del ejercicio físico también es idéntica a todos los participantes, de modo que la posible disparidad de resultados que podrían producir estos factores, estarían minimizados. En cuanto al tipo de fatiga, aunque la experimentada por los pilotos fue tanto física como mental no podemos conocer cuál de los dos componentes pudo ser más determinante. No obstante, el hecho de haber monitorizado la FCF durante toda la competición nos ha ayudado a determinar si el nivel de fatiga inducido ha sido tolerable.

Además, en la evaluación clínica de la AVD existen diferencias importantes entre los distintos instrumentos que miden esta habilidad visual, tanto en lo que respecta al procedimiento como al estímulo que utilizan dando lugar a unidades de medida diferentes (rpm, m/seg,...) (Banks et al., 2004). También se deben considerar las particularidades de la presente investigación, donde a pesar de que las condiciones de medida siempre fueron las mismas, las circunstancias

de una competición realizada durante 24 horas de forma ininterrumpida conlleva cambios evidentes en las condiciones ambientales (temperatura, iluminación, humedad,...). Por tanto el nivel de fatiga se pudo ver influido por distintos factores (privación de sueño, tiempo de conducción, conducir ciertas horas del día, la fatiga muscular, factores medioambientales, demandas cognitivas...) en las diferentes fases de la prueba, que ya han sido comentados en el punto 3.4 del marco teórico de este estudio.

Nuestros resultados son similares a los obtenidos por otros autores como Arteaga et al. (2002) y du Toit et al. (2006) que comprobaron que distintas cargas de ejercicio físico no tenían efecto sobre la AVD. Por su parte, Millslagle et al. (2005) informó de un aumento en la AVD y nosotros también evidenciamos una mejora a partir del segundo relevo y que fue máxima en el último relevo aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Este incremento podría ser atribuible a diversas causas como un posible aprendizaje por parte del sujeto con el test, a pesar de que antes de tomar las medidas basales se realizó una prueba para constatar que el piloto se familiarizaba con el test y el instrumento. En este punto, sin embargo, hemos de reconocer que, debido al entrenamiento previo al inicio de la competición que debían seguir los pilotos, sólo fue posible tomar una medida basal para cada uno de ellos. Sin duda, haber realizado más de una medida basal o una toma de datos tras la finalización de la competición podría haber ayudado a controlar el posible efecto del aprendizaje. Otros factores implicados en esta tendencia de mejora de los resultados de AVD tras el segundo relevo podrían ser así mismo, la mejora de las condiciones ambientales de la competición (menos calor puesto que se realizó entre las ocho y nueve de la tarde), la activación del SNC como manifiesta los valores de FCF, ingesta de alimentos y bebidas energéticas durante los descansos,... También queremos señalar que la máxima mejora en la AVD experimentada en el último relevo se podría haber influenciado adicionalmente por la motivación extra que puede suponer finalizar la competición o la ausencia de los posibles efectos negativos que pueden producir los ritmos circadianos (la última medición se realizó entre las 12 y 13 horas). Finalmente queremos añadir como posible causa del aumento experimentado en la AVD, el incremento de catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) que se evidencia con la realización de ejercicio físico, dando lugar a una activación simpático adrenal (Calderón, Calderón Montero y Teijón, 2007). Cabe señalar que se ha descrito al sistema nervioso simpático como el que prepara al organismo para un aumento de la actividad, de manera que algunos de los efectos que produce son aumento de la frecuencia cardíaca, vasoconstricción y dilatación pupilar (March y Baños, 1994). Es necesario recordar que tal y como se ha descrito anteriormente se ha observado un aumento de la AVD con aumentos del diámetro pupilar (Ueda et al., 2006 y 2007). Creemos que en próximas investigaciones sería beneficioso

comprobar posibles cambios significativos en el diámetro pupilar para poder evaluar de manera más precisa esta posible relación.

Es importante tener en cuenta que en los estudios citados previamente la fatiga fue inducida por la realización de ejercicio físico. Sin embargo, en nuestro caso la fatiga, tal y como ya se ha comentado anteriormente, también se pudo haber visto influenciada por otros factores. La investigación llevada a cabo por Behar et al. (1976), incluye otros posibles inductores de fatiga como son la privación de sueño o la realización de una tarea monótona. En sus resultados no se observó un deterioro de la AVD para una velocidad de 25 grados por segundo pero sí se observaron diferencias significativas cuando la velocidad fue superior (40°/seg.). En la presente investigación la velocidad de presentación del estímulo fue de 0,503 m/s que equivale a una velocidad angular de tan solo 14,1°/s. Así pues, nuestros resultados estarían en la línea de los de Behar et al (1976).

En cuanto a los valores obtenidos en la FCF, el incremento obtenido en este valor hasta el tercer relevo lo relacionamos con un mayor nivel de activación del SNC de los pilotos como consecuencia de la actividad física realizada, reflejando que las cargas físicas aeróbicas son tolerables por el organismo (Davranche y Audiffren, 2004; Grego et al., 2005; Maehashi y Taketa, 1996; Solé et al., 2004; Urgellés, 1985). El descenso observado a partir del cuarto relevo, y que es del 3,1% en el último relevo no es indicativo de una fatiga evidente de los pilotos, aunque sí marca una tendencia del efecto que tienen las cargas de competición sobre el SNC de los motoristas. Sin embargo, según Martínez (2001), sólo cuando el descenso es superior al 5% respecto al valor basal se relaciona inequívocamente con la fatiga del SNC. Esta tendencia observada nos hace sospechar que de haber continuado la competición se podría haber observado un deterioro más acentuado de este valor y por tanto se podría ver comprometida la integridad física de los pilotos.

Por último, también resulta interesante destacar la correlación negativa entre los valores de FCF y AVD en ambas condiciones de contraste, que evidenciarían, aunque no podamos explicar las causas, que ambas funciones estarían regidas por mecanismos absolutamente distintos. Es decir, si asumimos que el patrón de variación de la FCF (variable mucho más estudiada que la AVD) se ajusta razonablemente a la norma que lo relaciona con la fatiga, podríamos sospechar que la habilidad visual estudiada tiende a mejorar con un nivel moderado de cansancio.

Somos conscientes de que la presente investigación presenta diversas limitaciones. Tal y como ya se ha comentado, debido a las características propias de la competición, no fue posible tomar más de una medida basal ni tomar otra medida pasadas unas horas tras la finalización de la competición. Las medidas en la AVD, debido a la limitación temporal que nos imponía el ritmo de la competición, sólo se realizaron con una única velocidad del estímulo. Sin duda, hubiese sido interesante observar si al variar la velocidad del estímulo se veía modificada esta habilidad visual tal y como señalan los resultados de Behar et al. (1976). También debemos considerar que la muestra sólo estuvo compuesta por varones, circunstancia totalmente condicionada por la población base estudiada (desconocemos la existencia de pilotos femeninos de élite que compitan en este tipo de carreras), creemos que también hubiese sido interesante comprobar si en el sexo femenino la fatiga produce el mismo efecto sobre la AVD. Por otro lado, el tamaño de la muestra fue muy reducido, aunque hay que considerar que nuestra población base de estudio la componen pilotos de élite y que las medidas se realizaron a lo largo de la competición (el día en que los pilotos requieren una mayor concentración). Estos dos hechos condicionan negativamente el número de participantes. Sin embargo, por idénticas razones, esta investigación también presenta una serie de ventajas. En la mayor parte de estudios de este tipo, las mediciones se suelen llevar a cabo tras la ejecución de diversas cargas de entrenamiento y en condiciones artificiales de laboratorio. Sin embargo, el presente estudio se realizó durante una situación real de competición, con un alto grado de especificidad ya que confluyen aspectos personales de conducta de los pilotos durante una competición así como condiciones reales de competición, tanto de carácter temporal (el día de la competición) como espacial (en el mismo circuito). Creemos que estos aspectos proporcionan, a nivel deportivo, una alta validez ecológica y especificidad a nuestro trabajo. Diversos autores defienden la superioridad del sistema visual de los deportistas (De Teresa, 1992; Ishigaki y Miyao, 1993; Millslagle, 2000; Quevedo, 2007) con respecto a la población sedentaria. Teniendo en cuenta la importancia de la visión en el motociclismo y el patrón observado en los pilotos de élite participantes en esta investigación, pensamos que debería incluirse la evaluación de diferentes habilidades visuales en las baterías de tests o *screenings* que se realizan en las denominadas “detecciones de talentos”. Por otro lado, es importante concienciar a los pilotos, entrenadores y patrocinadores que, los exámenes visuales pueden evidenciar deficiencias en la funcionalidad del sistema visual que podrían mejorar con entrenamiento visual, como así han constatado diversos autores como De Teresa (1992); Fradua (1993); Long et al., (1991); o Quevedo y Solé (1995).

En próximas investigaciones sería interesante estudiar si existe relación entre el nivel de desarrollo de las habilidades visuales necesarias en una disciplina deportiva como el motociclismo y el rendimiento deportivo, de manera que aquellos deportistas con mejores habilidades visuales puedan tener una mejor clasificación. Esta es, sin duda, una cuestión clave en la especialidad optométrica denominada “Visión y deporte” que suscita no pocas polémicas entre los estudiosos de la materia (Ludeke y Ferreira 2003, Williams, Davids y Williams 1999, Ferreira 2002, Rouse et al 1988, Millslagle 2000).

Además, la monitorización de la FCF a lo largo de toda la prueba y su relación con el nivel de activación del SNC puede ayudar a pilotos y entrenadores a comprender la idoneidad de la preparación programada y planificar estrategias en las carreras de relevos. En futuras ediciones, también ayudaría a valorar la fatiga la observación en el piloto de cambios en la frecuencia de parpadeo y apertura palpebral. Estos registros también son buenos indicadores en la detección de la fatiga en conductores (Ji et al, 2004), pudiéndose, por ejemplo, realizar una grabación para cuantificar estos parámetros mientras se conversa brevemente con el motorista en cada relevo.

En la bibliografía consultada, no hemos encontrado ningún estudio similar desarrollado en el ámbito de los deportes de motor en los que la capacidad perceptivomotora puede llegar a constituir una cuestión crítica. Un buen ejemplo lo encontramos en las pruebas de resistencia de motociclismo, especialidad en la que la exigencia de la competición obliga a conducir bajo condiciones cambiantes y déficit de sueño. Pensamos que, aparte del interés científico que supone este estudio, puede ayudar a los pilotos a mejorar su rendimiento. Para ello es necesario formar parte de equipos de trabajo multidisciplinares que evalúen el rendimiento deportivo.



## 14. Conclusiones

### 1. Evolución de la Agudeza Visual Dinámica en condiciones de alto y bajo contraste:

- a. El esfuerzo de la tarea y características de una competición de resistencia de motociclismo no provocan cambios estadísticamente significativos en la AVD tanto en condiciones de alto como bajo contraste.
- b. Se han observado ligeras variaciones en el rendimiento de la AVD que se ha podido ver influenciada por factores internos y externos como la fatiga, los ritmos circadianos, los periodos de descanso, la temperatura, iluminación ambiental, ...
- c. El contraste del estímulo influye en la AVD de manera inversa, de forma que a menor contraste menor AVD.
- d. La correlación entre AVD de alto y bajo contraste (a una velocidad de 0,503 m/s) es alta.
- e. Dada la relevancia de la visión en general, y muy en especial de la AVD, en los deportes de motor, sobre todo en los de larga duración, creemos necesario realizar más estudios de este tipo que ayuden a un conocimiento más profundo de los requerimientos visuales de los pilotos para optimizar su conducción y seguridad.

### 2. Monitorización de la FCF en un grupo de motociclistas de élite durante la realización de una competición de resistencia de 24 horas:

- a. A pesar de la dureza de la competición, no se observaron niveles de fatiga estadísticamente significativos en el SNC de los participantes.
- b. El nivel de activación observado en los participantes se podría atribuir a varios factores como por ejemplo el descanso entre relevos, toma de refrescos, a su adecuado nivel de preparación física, o la ingesta de fármacos (supuesto que fue controlado durante la competición).
- c. La medida de la FCF es un valor objetivo en la valoración del nivel de activación de los motociclistas.
- d. El control y seguimiento de la FCF durante la competición puede ayudar a planificar la estrategia de relevos en pruebas motociclistas de larga duración.

3. Correlación entre los valores de AVD de alto y bajo contraste y FCF.
  - a. La correlación negativa encontrada entre los valores de AVD de alto y bajo contraste con la FCF, nos hace pensar que estas dos funciones están controladas por mecanismos independientes.
  - b. La alta correlación entre la AVD de alta y bajo contraste, indica que la fatiga afecta por igual a la AVD en estas condiciones de contraste.

## 15. Bibliografía

Adams, A.J., Brown, B., Flom, C., Jones, R.T., Jampolsky, A. Alcohol and marijuana effects of static visual acuity. *Am J Optom Physiol Opt*, 1975; 52: 729–35.

Aguilar, M., Pérez Carpinell, J., Climent, V. The variation of critical flicker frequency in color. *Atti Della Fondazione Giorgio Ronchi*, 1983; 38: 116-122.

Al Khamis, A.R., Easterbrook, M. Critical flicker fusion frequency in early chloroquine retinopathy. *Can J Ophthalmol*, 1983; 18 (5): 217-219.

Ali, M. R., Amir, T. Effects of tanning on visual flicker fusion. *Perceptual and Motor Skills*, 1989; 69, 2: 627-631.

Ali, M.R., Amir, T. Critical flicker frequency under monocular and binocular conditions. *Perceptual and Motor Skills*, 1991; 72, 2: 383-386.

Ali, M.R., Khaleque, A., Khanam, M., al-Shatti, A., Ahmed, R.U. Critical flicker frequency of mentally retarded and normal persons. *Perceptual and Motor Skills*, 1994; 79, 3 Pt 1: 1235-1238.

Alonso, F., Esteban, C., Calatayud, C., Alanar, B., Egado, A. *Salud Vial. Teoría y prácticas de los trastornos físicos y psíquicos en la conducción*. [En línea]. 1ª ed. Attitudes, 2008. [Consulta: 23-03-2009]. Colección: Cuadernos de Reflexión Attitudes. Disponible en: <[http://www.attitudes.org/proyectos/pdf/jornadas\\_reflexion/Libro\\_13.pdf](http://www.attitudes.org/proyectos/pdf/jornadas_reflexion/Libro_13.pdf)>.

Arteaga, M., Cárdenas, D., Delgado, M. Influencia del esfuerzo físico anaeróbico en la visión periférica vertical y horizontal. *Revista de Motricidad*, 2000; 6: 123-139.

Arteaga, M., Torre, E., Delgado, M. The influence of anaerobic physical exertion on DVA and ocular motility. *Journal of Human Movement Studies*, 2002; 42: 109-126.

Artigas, J.M., Capilla, P., Felipe, A., Pujol, J. Propiedades temporales del sistema visual II. En: *Óptica Fisiológica. Psicofísica de la visión*. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España, 1995, p. 457-461.

Aznar-Casanova, J.A., Quevedo, Ll., Sinnet, S. The effect of drift and displacement motion on dynamic visual acuity. *Psicologica*, 2005; 26: 101-126.

Banks, P.M., Moore, L.A., Liu, C., Wu, B. Dynamic visual acuity: a review. *The South African Optometrist*, 2004; 63, 2: 58-64.

Bard, C. Fleury, M. Influence of imposed metabolic fatigue on visual capacity components. *Perceptual and Motor Skills*, 1978; 47, 3 Pt 2: 1283-1287.

Bard, C., Fleury, M. Influence of different types of physical fatigue on a visual detection task. *Perceptual and Motor Skills*, 1981; 53, 3: 723-730.

Bard, C. Fleury, M. Metabolic fatigue and the performance of visual tasks. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 1990; 15, 1: 45-50.

Barrios Duarte, R., Lobato González, S., Rodríguez Pacheco, F. y Cardoso Pérez, L. Desarrollo de un procedimiento para diagnosticar confiabilidad en la medición de la frecuencia crítica de fusión (FCF) en deportistas. *Lecturas: Educación Física y Deportes, Revista Digital*. [En línea] 2003; 66 [Consulta: 05-04-2009]. Disponible en: <<http://www.efdeportes.com/efd66/fcf.htm>>. ISSN 1514-3465.

Beckerman, S.A., Hitzeman, S. The ocular characteristics of an athletic population. *Optometry*, 2001; 72: 498-509.

Beckerman, S., Hitzeman S.A. Sports vision testing of selected athletic in the 1997 and 1998 AUU Junior Olympic Games. *Optometry*, 2003; 74, 8: 502-16.

Behar, I., Kimball, K.A., Anderson, D.A. Dynamic Visual Acuity in Fatigued Pilots. *Army Aeromedical Research Lab fort Rucker Al*, 1976, ADA027663.

Bergmanson, J.P.G., Soderberg, P.G. The significance of ultraviolet radiation for eye diseases. *Ophthalmic Physiological Optics*, 1995; 15, 2: 83-91.

Bernardi, L., Costa, V.P., Shiroma, L.O. Flicker perimetry in healthy subjects: influence of age and gender, learning effect and short-term fluctuation. *Arq Bras Oftalmol*, 2007; 70 (1): 91-99.

Birch, E.E., Gwiazda, J., Bauer, J.A.Jr., Naegele, J., Held, R. Visual acuity and its meridional variations in children aged 7-60 months. *Vision Research*, 1983; 23: 1019-1024.

Birnbaum, M. H. (1994) Behavioral Optometry: a historical perspective. *Journal of American Optometric Association*, 1994, 65, 4: 255-264.

Blanco, A. Frecuencia crítica de fusión de flicker-fusión en entrenamiento y competición de deportes de equipo. *Lecturas: Educación Física y Deportes, Revista Digital*. [En línea] 2004, 73. [Consulta: 06-04-2009]. Disponible en: <<http://www.efdeportes.com/efd73/fcf.htm>>. ISSN 1514-3465.

Borland, R.G., Nicholson, A.N. Visual motor co-ordination and dynamic visual acuity. *Br J Clin Pharmacol*, 1984: 67S-72S.

Bornstein, M.H., Marks, L. E. Photopic luminosity measures by the method of critical frequency. *Vision Research*, 1972; 12: 2023-2034.

Bowers, A., Peli, E., Elgin, J., McGwin, Jr., Owsley, C. On road-driving with moderate visual field loss. *Optom Vis Sci*, 2005; 82, 8: 657-667.

Brown, B. Dynamic visual acuity, eye movements and peripheral acuity for moving targets. *Vision Research*; 1972a, 12: 305-321.

Brown, B. The effect of target contrast variation on dynamic visual acuity and eye movements. *Vision Research*, 1972b; 12: 1213-1224.

Brown, I.D. Driver fatigue. *Human Factors*, 1994; 36, 2: 298-314.

Bueno del Romo G., Douthwaite, W.A., Elliot, D.B. Critical flicker frequency as a potential vision technique in the presence of cataracts. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2005; 46: 1107-1112.

Burg, A. Visual acuity as measured by dynamic and static tests: A comparative evaluation. *J Applied Psychology*, 1966; 50: 460-466.

Burg, A. Vision test scores and driving record: Additional findings. 1968, Report nº 68-27. Los Angeles: University of California, Department of Engineering. Citado en: Comité on Vision of the National Research Council, *Emergent techniques for Assessment of Visual Performance*. Washington: National Academy Press, 1985.

Burg, A. Coppin, R.S. Visual acuity and driving record. *Highway Research Record*, 1966; 122: 1-6.

Burg, A., Hulbert, S.F. Dynamic visual acuity as related to age, sex and static acuity. *J Appl Psychol*, 1961; 45, 2: 111-116.

Calderón, J., Calderón Montero, F.J., Teijón, J.M. Hormonas de las glándulas suprarrenales. En: *Fisiología aplicada al deporte*. Madrid: Editorial Tebar, 2007, p. 561-563.

Carpenter, J.A. Effects of alcohol on some psychological processes. *Quarterly Journal of Studies on Alcohol*, 1962; 23: 274-314.

Castro, C., Durán, M., Cantón, D. La conducción vista por los psicólogos cognitivos. *Boletín de psicología*, 2006; 87: 35-60.

Chen, M.L., Chen, C.J., Yeh, W.Y., Huang, J.W., Mao, I.F. Heat stress evaluation and worker fatigue in a steel plant. *AIHA Journal*, 2003; 64, 3: 352-359.

Chen, D., McMahan S. *Development and Testing of Self-Assessment Tests for Increasing Motorcycle Safety for Aging Motor Cyclists*, 2006. California State University Fullerton, Fullerton, CA.

Cillino, S., Casuccio A., Di Pace F., Pillitteri F., Cillino G. A five-year retrospective study of the epidemiologic characteristics and visual outcomes of patients hospitalized for ocular trauma in Mediterranean area. *BMC Ophthalmol*, 2008; 8:6.

Cline, D., Hoffstetter, H.W., Griffin, J.R. *Dictionary of Visual Science*. 3th Ed. Radnor, PA: Chilton, 1980.

Cohen, A.S., Studach, H. Eye movements while driving cars around curves. *Perceptual and Motor skills*, 1977; 44, 3: 683-689.

Colby, C.L., Duhamel, J.R., Goldberg, M.E. Ventral intraparietal area of the macaque: anatomic location and visual response properties. *J Neurophysiol*, 1993; 69: 902-914.

Colmenero, J.M., Catena, A., Fuentes, L.J. Atención visual: Una revisión sobre las redes atencionales del cerebro. *Anales de psicología*, 2001; 17, 1: 45-67.

Committee on Vision of the National Research Council. *Emergent Techniques for Assessment of Visual Performance*. Washington: National Academy Press, 1985.

Costa, G. Evaluation of workload in air traffic controllers. *Ergonomics*, 1993; 36, 9: 1111-1120.

Crundall, D.E., Underwood, G. Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers. *Ergonomics*, 1998; 41, 4: 448-458.

Crundall, D.E., Underwood, G., Chapman, P.R. Driving experience and the functional field of view. *Perception*, 1999; 28: 1075-1087.

Cruz, L., García, M. Fatiga psíquica en judokas mediante el flicker y el Toluse-Pieron. *Boletín Científico Técnico*, 1991; 3: 11-26.

Curran, S. Wattis, J. Critical flicker fusion threshold: a potentially useful measure for the early detection of Alzheimer's disease. *Hum Psychofarmacol*, 2000; 15: 103-112.

Davranche, K., Audiffren, M. Facilitating effects of exercise on information processing. *Journal of Sports Sciences*, 2004; 22: 419-428.

Davranche, K., McMorris, T. Specific effects of acute moderate exercise on cognitive control. *Brain and cognition*, 2009; 69, 3: 565-570.

Davranche, K., Pichon, A. Critical flicker frequency threshold increment alter an exhausting exercise. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 2005; 27, 4: 515-520.

De Teresa, T. *Visión y práctica deportiva: entrenamiento de biofeedback en deporte de alto rendimiento*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Madrid, 1992.

Desmond, P.A., Hancock, P.A. Active and Passive fatigue states. En: Hancock, P.A, Desmond, P.A. (Ed.), *Stress, workload, and fatigue*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2001, p. 455-465. Citado por Haworth, N., Rowden, P. *Investigation of fatigue related motorcycle crashes- literature review (RSD-0261)*. Report to VicRoads, 2006. [En línea]. Brisbane: Queensland University of Technology. [Consulta: 07-09-2008]. Disponible en: <<http://eprints.qut.edu.au/6250/>>.

Dirección General de Tráfico (DGT). *La fatiga causa el 30% de los accidentes de tráfico en España, lo que la sitúa como la 4ª causa de siniestralidad en nuestras carreteras*, 2008. [En línea]. Madrid: DGT. [Consulta: 10-04-2009]. Disponible en: <[http://www.dgt.es/was6/portal/contenidos/documentos/prensa\\_campanas/notas\\_prensa/notaprensa090.pdf](http://www.dgt.es/was6/portal/contenidos/documentos/prensa_campanas/notas_prensa/notaprensa090.pdf)>

Douchamp-Roboux, F., Heinz, J.K., Douchamp, J. Arousal as a tridimensional variable: an exploratory study of behavioural changes in rowers following a marathon race. *International Journal of Sports Psychology*, 1989; 20: 31-41.

Du Toit, P.J., Krüger, P.E., de Wet, K.B., van Vuuren, B., van Heerden, H.J., Janse van Rensburg, C. Influence of exhaustion on metabolism and visual motor performance of professional cricket players. *African Journal for Physical, Health Education, Recreation and Dance (AJPHERD)*, 2006; 12, 1: 50-59.

Eby, D.W. Trombley, D.A., Molnar, L.J., Shope, J.T. *The assessment of older driver's capabilities: A review of the literature*. Ann Harbour: The University of Michigan Transportation Research Institute, 1998.

Efron, N. Sports Vision Correction with Contact Lenses. En: Loran, D., McEwen, C., *Sports Vision*. London: Butterworth-Heinemann, 1995, p. 127-147.

Egea Caparrós, A. *Comportamiento en conducción. Aspectos cognitivos*. Universidad de Murcia, 2000. Recuperado de Internet 20/03/2009. <http://www.um.es/docencia/agustinr/pca/textos/cogni2.pdf>

Elkin, E.H. Target velocity, exposure time and anticipatory tracking time as determinants of dynamic visual acuity. *Journal of Engineering Psychology*, 1962; 1: 26-33.

Estivill, E. *El son i la seva relació amb el rendiment esportiu*. Jornada de trastorns del son i traumatismes facials en l'esport. Barcelona: Societat Catalana de Medicina de l'Esport, 2009.

Ferreira, J.T. Sports vision as a Hardware and Software system. *Eyesite*, 2002; July: 40.

Ferry, E.S. (1892) Persistence of vision. *American Journal of Science*, 44, 192-207. Citado por: Artigas, J.M., Capilla, P., Felipe, A., Pujol, J. Propiedades temporales del sistema visual II. En: *Óptica Fisiológica. Psicofísica de la visión*. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España, 1995.

Forteza, J.A. Psicología y seguridad vial. Edad y conducción. *Rev Oficial Colegio Psicólogos de Madrid*, 1985; 20: 33-42.

Fradua, J.L. *Efectos del entrenamiento de la visión periférica en el rendimiento del futbolista*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias del Deporte y la Actividad Física de Granada, Universidad de Granada, 1993.

Fujii, M., Miyoshi, T., Fukui, T. Studies on fatigue of night duty workers at a newspaper office. *Ind Health*, 1996; 34, 2: 81-91.

Gallahue, D., Ozmun, J.C. Childhood Perception and Perceptual-Motor Development. *Understanding motor development infants, children, adolescents, adults*. 6ª Ed. Boston: McGraw Hill Higher Education, 2006, p. 260-277.

García, J.L., Rogado, E., Barea, R., Bergasa, L.M., López, M., Ocaña, M., Schleicher, D. (2008) *Sistema detector de fatiga en la conducción*. 2008. Departamento Electrónica. Universidad de Alcalá. Vigo: IX Workshop de Agentes físicos. WAF-2008.

García-Ogueta, M. Mecanismos atencionales y síndromes neuropsicológicos. *Revista de Neurología*, 2001; 32, 5: 463-467.

Girard, O., Millet, G.P. Neuromuscular fatigue in racquet sports. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2009; 20, 1: 161-173.

Godefroy, D., Rousseou, C., Verycruyssen, F., Cremieux, J. y Brisswalter, J. Influence of physical exercise on perceptual response in aerobically trained subjects. *Perceptual and Motor Skills*, 2002; 94, 1: 68-70.

González, C.L. ¿Los “Terécnicos” están condenados a perder frente a los “Pármicos” en las competencias deportivas? *Lecturas: Educación Física y Deportes, Revista Digital*. [En línea] 2003, 59. [Consultado el 12-04-2009]. Disponible en: <<http://www.efdeportes.com/efd59/parm.htm>>. ISSN 1514-3465

Grandjean, E. Fatigue. Yant Memorial Lecture. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1970; 31: 401-411.

Grandjean, E. Fatigue in industry. *British Journal of Industrial Medicine*, 1979; 36: 175-186.

Grandjean, E., Wotzka, G., Schaad, R., Gilgen, A. Fatigue and stress in air traffic controllers. *Ergonomics*, 1971; 14: 159-165.

Granit, E., Harper, P. (1930) Comparative studies on the peripheral and central retina. II. Synaptic reactions in the eye. *Am J Physiol*, 1930; 95:211-228.

Grego, F., Vallier, J.M., Collardeau, M., Rousseu, C., Cremieux, J., Brisswalter, J. Influence of exercise duration and hydration status on cognitive function during prolonged cycling exercise. *Int J Sports Med*, 2005; 26, 1: 27-33.

Guerrero, R. El entrenamiento visual en los deportistas: principios y fases. *Lecturas: Educación Física y Deportes, Revista Digital*. [En línea] 2001, 36. [Consultado el 02-04-2009]. Disponible en: <<http://www.efdeportes.com/efd36/visual.htm>>. ISSN 1514-3465

Halstead, W.C. (1947) Brain and intelligence; a quantitative study of the frontal lobes. Chicago: University of Chicago Press: xiii, 206 pp. Citado por Seitz, A.R., Nanez, J.E., Holloway, S.R., Watanabe, T. Perceptual Learning of Motion Leads to Faster Flicker Perception. *Plos ONE*, 2006; 20; 1: e28.

Haworth, N., Rowden, P. *Investigation of fatigue related motorcycle crashes- literature review (RSD-0261). Report to VicRoads*, 2006. [En línea]. Brisbane: Queensland University of Technology. [Consulta: 07-09-2008]. Disponible en: <<http://eprints.qut.edu.au/6250/>>.

Hecht, S., Smith, E. L. Intermittent stimulation by light. VI. Area and the relation between critical frequency and intensity. *J Gen Physiol*, 1936; 19: 979-991.

Hecht S., Verrijp C.D. The influence of intensity, color y retinal location on the fusion frequency of intermittent illumination. *Proc Natl Acad Sci*, 1933; 19, 5: 522-535.

Henderson, J.M., Hollingworth, A. Eye movements during scene viewing an overview. En: Underwood, G. (Ed.). *Eye guidance in reading and scene perception*. Oxford: Elsevier, 1998, p. 269-295.

Hill, S., Powell, B., Goodwin, D.W. Critical flicker fusion: objective measurements of alcohol tolerance. *Journal of Mental and Nervous Disorders*, 1973; 46: 157.

Honegger, H., Kampschulte, R., Klein, H. Alcohol disturbance of visual acuity for moving objects. *Blutakohol*, 1970; 7: 31-44.



Hosokawa, T., Mikami, K., Saito, K. Basic study of the portable fatigue meter: effects of illumination, distance from eyes and age. *Ergonomics*, 1997; 40 (9): 887-894.

How, J.M., Foo, S.C., Low, E., Wong, T.M., Vijayan, A., Siew, M.G., Kanapathy, R. Effects of sleep deprivation on performance of naval seamen: I. Total sleep deprivation on performance. *Ann Acad Med Singapore*, 1994; 23 (5): 669-675.

Hulbert, S.F., Burg, A., Knoll, H.A., Mathewson, J.F. A preliminary study of dynamic visual acuity and its effects in motorist vision. *Journal of the American Optometric Association*, 1958; 10 (55): 747-752.

Ishigaki, H., Miyao, M. Differences in dynamic visual acuity between athletes and non-athletes. *Perceptual and Motor Skills*, 1993; 77: 835-839.

Ishigaki, H., Miyao, M. Implications for dynamic visual acuity with changes in age and sex. *Perceptual and Motor Skills*, 1994; 78 (2): 363-369.

Jacobson, D.M., Olson, K.A. Impaired critical flicker frequency in recovered optic neuritis. *Ann Neurol*, 1991; 30 (2): 213-215.

Jansen, A.A., de Gier, J.J., Slangen, J.L. Alcohol effects on signal detection performance. *Neuropsychobiology*, 1985; 14 (2): 83-7.

Ji, Q., Zhu, Z., Lan, P. Real- Time Nonintrusive Monitoring and Prediction of Driver Fatigue. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2004; 53 (4): 1052-1068.

Johnston R.B., Howard, M.E., Cawley, P.W., Losse G.M. Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. *Med Sci Sports Exerc*, 1998; 30 (12): 1703-1707.

Jünemann, A.G., Horn, F.K., Martus, P., Korth, M. The full-field temporal contrast sensitivity test for glaucoma: influence of cataract. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2000; 238: 427-432.

Kawabata, H., Sato, O., Watanabe, H., Kishi, R., Namiki, A. Fatigue and stress of anesthesiologists at work. *Masui*, 1993; 42 (5): 765-769.

Kohmura, Y., Aoki, K., Honda, K., Yoshigi, H., Sakuraba, K. The relationship between dynamic visual acuity and saccadic eye movement. *Human Performance Measurement*, 2008; 5: 23-30.

Kumashiro, M., Mikami, K., Hasegawa, T. Effects of visual and mental strain on VDT (visual display terminal) performance. *Sangyo Igaku*, 1984; 26 (2): 105-111.

Lanchenmayr, B.L., Gleissner, M. Flicker Perimetry Resists Retinal Image Degradation. *Investigative ophthalmology & Visual Science*, 1992; 33 (13): 3539-3542.

Land, M.F., Furneaux, S. The knowledge base of the oculomotor system. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1997; B, 352: 1231-1239.

Land, M.F., Mennie, N., Rusted, J. The roles of vision and eye movements in the control of activities of daily living. *Perception*, 1999; 28: 1311-1328.

Larson, P.S., Finnegan, J.K., Haag, H.B. Observations on the effect of cigarette smoking on the fusion frequency of flicker. *J Clin Invest*, 1950; 29 (4): 483–485.

Lee, B.B., Pokorny, J., Smith, V.C., Martin, P.R., Valberg, A. Luminance and chromatic modulation sensitivity of macaque ganglion cells and human observers. *J Opt Soc Am A*, 1990; 7: 2223-2236.

Li, Z., Jiao, K., Chen, M. y Wang, C. Reducing the effects of driving fatigue with magnitopuncture stimulation. *Accident Analysis and Prevention*, 2004; 36 (4): 501-505.

Li, Y.F., Zhan H., Xin, Y.M., Tang, G.X., Wei, S.H., Li, T. Effects of modafinil on visual and auditory reaction abilities and subjective fatigue level during 48 h sleep deprivation. *Space Med Med Eng*, 2003; 16 (4): 277-280.

Lillo, J. Flujo óptico y conducción: tiempo de contacto y agudeza dinámica. *Anuario de Psicología*, 1996; 68: 39-46.

Lin, Y., Leng, H., Yang, G., Cai, H. An intelligent Noninvasive Sensor for Driver Pulse Wave Measurement. *Sensors Journal, IEEE*, 2007; 7 (5): 790-799.

Lisberger, S.G., Movshon, J.A. Visual motion analysis for pursuit eye movements in area MT of macaque monkeys. *J Neurosci*, 1999; 19: 2224-2246.

Long, G.M., Crambert, R.F. The nature and basis of age related changes in DVA. *Psychology and Aging*, 1990; 5 (1): 138-143.

Long, G.M., Garvey, P.M. The effects of target borders on dynamic visual acuity: Practical and theoretical implications. *Perception*, 1988; 17: 745-752.

Long, G.M., Riggs, C.A. Training effects on dynamic visual acuity with free head viewing. *Perception*, 1991; 20: 363-371.

Long, G.M., Rourke, D.A. Training effects in the resolution of moving targets-dynamic visual acuity. *Human factors*, 1989; 31: 443-451.

Loran, D., MacEwen, C. *Sports Vision*. Oxford: Butterworth & Heinemann, 1995.

Loranger, A.W., Misiak, H. Critical flicker frequency and some intellectual functions in old age. *J Gerontol*, 1959; 14: 323-327.

Ludeke, A., Ferreira, J.T. The difference in visual skills between professional versus non-professional rugby players. *The South African Optometrist*, 2003; 62 (4): 150-158.

Ludvigh, E., Miller, J.W. Study of visual acuity during the ocular pursuit of moving test objects I. Introduction. *Journal of the Optical Society of America*, 1958; 11 (48): 799-802.

Ma, T., Williamson, A., Friswell, R. *A pilot study of fatigue on motorcycle day trips*, 2003. Sydney: NSW Injury Risk Management Research Centre.

Maehashi, A., Taketa, K. Scores of fatigue in high school students in physical education classes. *Acta Med Okayama*, 1996; 50 (3): 165-72.

Mannino, G., Polani, D. Fatiga, dolor y actividad deportiva. En: Tamorri, S. *Neurociencias y deporte: Psicología deportiva, procesos mentales del atleta*. Barcelona: Paidotribo, 2004, p. 259.

March, M., Baños, J.E. Aspectos generales de la fisiología vegetativa. *Farmacología ocular*. Primera edición. Barcelona: Ediciones UPC, 1994, p.133.

Martínez, A. Relación entre el método directo e indirecto en la medición de fatiga. *Lecturas: Educación Física y Deportes, Revista Digital*. [En línea] 2001, 31. [Consulta: 01-04-2009]. Disponible en: < <http://www.efdeportes.com/efd31/fatiga.htm>>. ISSN 1514-3465.

Martínez Mesa, J. *Control psicológico del entrenamiento a partir del estudio de la frecuencia crítica de fusión ocular*. XX Congreso Internacional de actividades acuáticas y natación. Toledo: ATN, 2000.

Martínez Mesa, J. Diferencia entre los niveles de fatiga central antes y después del suministro de cargas. *Revista Cubana de Medicina del Deporte y la Cultura Física*. [En línea] 2008, 3 (4). [Consulta: 13-02-2009]. Disponible en: < [http://www.inder.cu/portal/Servicios\\_Informativos/RevistaIMD/Volumen%203/Número%204/Diferencia%20entre%20los%20niveles%20de%20fatiga.htm](http://www.inder.cu/portal/Servicios_Informativos/RevistaIMD/Volumen%203/Número%204/Diferencia%20entre%20los%20niveles%20de%20fatiga.htm)>. ISSN 1728-922X.

Marziale, M.H., Rozestraten, R.J. Alteranting shifts: mental fatigue in nurses. *Rev Lat Am Enfermagem*, 1995; 3 (1): 59-78.

Matsumoto, C., Takada, S., Okuyama, S., Arimura, E., Hashimoto, S., Shimomura, Y. Automated flicker perimetry in glaucoma using Octopus 311: a comparative study with the Humphrey Matrix. *Acta Ophthalmol Scand*, 2006; 84 (2): 810-815.

McClelland G. The effects of practice on measures of performance. *Human Psychopharmacology*, 1987; 2: 109-118.

McKendrick, A.M., Johnson, C.A. Propiedades Temporales de la Visión. En: Kaufman, P.L., Alm, A. *Adler Fisiología del ojo*. Madrid: Elsevier, 2003, p. 513-516.

Melcher, M. H., Lund, D.R. Sports Vision and the high school student athlete. *Journal of the American Optometric Association*, 1992; 7 (63): 466-474.

Menéndez, J.M. Conducir en blanco y negro. *Tráfico y Seguridad vial*, 2004; 169: 32.

Miller, D. Fisiología de la Óptica y la Refracción. En: Kaufman, P.L., Alm, A. *Adler Fisiología del ojo*. Madrid: Elsevier, 2003, p. 161-196.

Miller, J.W. Effect of exposure time upon ability to perceive a moving target. NSAM-573. Naval School of Aviation Medicine. Pensacola, Florida, 1959. Citado en: Committee on Vision of the National Research Council. *Emergent Techniques for Assessment of Visual Performance*. Washington: National Academy Press, 1985.

Miller, J.W., Ludvigh, E. The effect of relative motion on visual acuity. *Survey of Ophthalmology*, 1962; 7: 83-116.

Millslagle, D.G. Dynamic Visual acuity and coincidence-anticipation timing by experienced and inexperienced women players of fast pitch softball. *Perceptual and Motor Skills*, 2000; 2 (90): 498-504.

Millslagle, D.G. Coincidence anticipation and dynamic visual acuity in young adolescents. *Perceptual and Motor Skills*, 2004; 99: 1147-1156.

Millslagle, D.G., DeLaRosby, A., VonBank, S. Incremental exercise in dynamic visual acuity. *Perceptual and Motor Skills*, 2005; 101: 657-664.

Misawa, T., Shigeta, S. An experimental study of work load on VDT performance. Part 1. Effects of polarity of screen and color of display. *Sangyo Igaku*, 1986; 28 (6): 420-427.

Misawa, T., Shigeta, S., Nojima, S. Effects of video games on visual function in children. *Nippon Eiseigaku Zasshi*, 1991; 45 (6): 1029-1034.

Misawa, T., Yoshino, K., Shigeta, S. An experimental study on the duration of a single spell of work on VDT (visual display terminal) performance. *Sangyo Igaku*, 1984; 26 (4): 296-302.

Misiak, H. Age and sex differences in critical flicker frequency. *Journal of Experimental Psychology*, 1947; 37(4): 318-332.

Misiak, H. The Decrease of Critical Flicker Frequency with Age. *Science*, 1951; 113 (2941): 551-552.

Morris, G.S. *Elementary Physical Education: Toward Inclusion*. Salt Lake City, UT: Brighton Publishing, 1980. Citado por Gallahue, D., Ozmun, J.C. Childhood Perception and Perceptual-Motor Development. *Understanding motor development infants, children, adolescents, adults*. 6ª Ed. Boston: McGraw Hill Higher Education, 2006, p.265.

Mourant, R., Rockwell, T. Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Human factors*, 1972; 14 (4): 325-335.

Murata, K., Araki, S., Kawakami, N., Saito, Y., Hino, E. Central nervous system effects and visual fatigue in VDT workers. *Int Arch Occup Environ Health*, 1991; 63 (2): 109-113.

Murata, K., Araki, S., Yokoyama, K., Yamashita, K., Okumatsu, T., Sakou, S. Accumulation of VDT work-related visual fatigue assessed by visual evoked potential near point distance and critical flicker fusion. *Ind Health*, 1996; 34 (2): 61-69.

Nakatsuka, M., Ueda, T., Nawa, Y., Yukawa, E., Hara, T., Hara, Y. Effect of static visual acuity on dynamic visual acuity: A pilot study. *Perceptual and Motor Skills*, 2006; 103: 160-164.

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). U.S. Department of Transportation. *Motorcycle safety* (Revisado Diciembre 2007). [En línea]. Washington, DC: NHTSA. [Consulta: 15-03-2009]. Disponible en: <http://www.nhtsa.dot.gov/people/injury/pedbimot/motorcycle/motosafety.htm>

Noy, I. Visual perception, Age, and Driving. En: Karwowski, W. (Ed.) *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*. Boca Raton FL: CRC Press, 2006; Vol.1, p. 558-560.

O'Leary, K.D., Rosenbaum, A., Hughes, P.C. Fluorescent lighting: a purported source of hyperactive behavior. *J Abnorm Child Psychol*, 1978; 6 (3): 285-289.

Organización Mundial de la Salud, OMS. *Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito*, 2004. [En línea]. Ginebra: OMS. [Consulta: 12-04-2009]. Disponible en: <[http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/publications/road\\_traffic/world\\_report/summary\\_es.pdf](http://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/summary_es.pdf)>

Organización Mundial de la Salud, OMS. *Youth and Road Safety*, 2007. [En línea]. Ginebra: OMS. [Consulta: 21-04-2009]. Disponible en: <[http://whqlibdoc.who.int/publications/2007/9241595116\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2007/9241595116_eng.pdf)>

Ortega Sánchez-Pinilla, R., Jiménez Díaz, F. Conceptos básicos de fisiología del esfuerzo. En: *Medicina del ejercicio físico y del deporte para la atención a la salud*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 1992, p.11-19.

Ozcoidi, M., Valdés, E., Simón, M.L., González, J.C. Patología Médica y Conducción de Vehículos. Dirección General de Tráfico, 2002.

Palomar, F.J. Anillo-Disco Palomar: Optotipo Universal para determinar la agudeza visual. *Ver y Oír*, 1991; 61, 29-35.

Philip, P., Sagasse, P., Moore, N., Taillard, J., Horne, J.A. Fatigue, sleep restriction and driving performance. *Accident Analysis and Prevention*, 2005; 37: 473-478.

Plou, P. Conferencia "Visión deportiva", 2000, Madrid, citado por Fernández, A., Romero, M.J., Rubio, F., Viera, O. Influencia del desarrollo de las habilidades visuales en el rendimiento deportivo en deportistas élites de Raquetball. *Revista Cubana de Oftalmología*. [En línea] 2007, 20 (2). [Consulta: 12-02-2009]. Disponible en: <[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S086421762007000200013&lng=es&nr\\_m=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086421762007000200013&lng=es&nr_m=iso)>. ISSN 0864-2176.

Porter, T.C. Contributions to the study of the study of flicker. II. Proc. Roy. Soc. London; 70A:313-329, 1902. Citado por Artigas, J.M., Capilla, P., Felipe, A., Pujol, J. Propiedades temporales del sistema visual II. En: *Óptica Fisiológica. Psicofísica de la visión*. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España, 1995.

Presland, J.D., Dowson, M.N., Cairns, S.P. Changes of motor drive, cortical arousal and perceived exertion following prolonged cycling to exhaustion. *Eur J Appl Physiol*, 2005; 95(1): 42-51.

Quevedo, LL. *Evaluación de la agudeza visual dinámica: Una aplicación al contexto deportivo*. Tesis doctoral, UPC, Departament d'Òptica i Optometria EUOOT: Terrassa, 2007. Disponible en: [www.tesisenxarxa.net/TDX-0606107-124201/index.html](http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0606107-124201/index.html)

Quevedo, LL., Solé, J. Metodología del entrenamiento visual aplicada al deporte. *Gaceta Óptica*, 1994; 281: 12-16.

Racette, L., Casson, E.J. The impact of visual loss on driving performance: evidence from on-road driving assessments. *Optom Vis Sci*, 2005; 82 (8): 668-674.

Ramírez, M., Córdoba, J., Jover, R., del Olmo, J.A., Núñez, D., Flavia, M., Company, L., Rodrigo, J.M., Romero Gómez, M. Medición de la frecuencia crítica de parpadeo para el diagnóstico de encefalopatía hepática mínima. *Gastroenterol Hepatol*, 2006; 29 (Supl 1): 123-124.

Rantanen, E. M., Goldberg, J.H. The effect of mental workload on the visual field size and shape. *Ergonomics*, 1999; 42 (6): 816-834.

Real Decreto 772/ 1997, de 30 de Mayo, de *Reglamento general de conductores*. Boletín Oficial del Estado, 6 de junio de 1997, número 0135.

Roads and Traffic Authority of New South Wales (RTA). *Motorcycle safety: Issues and Countermeasures* (2004). [En línea]. Sidney: RTA. [Consulta: 05-08-2008]. Disponible en: <[http://www.rta.nsw.gov.au/roadsafety/downloads/rta\\_motorcycle\\_icm.pdf](http://www.rta.nsw.gov.au/roadsafety/downloads/rta_motorcycle_icm.pdf)>.

Romero, A., García Sevilla, J., Martínez, F., Morales, A., Sánchez, J. Conducción y vejez: el deterioro con la edad en tareas de velocidad de anticipación y coordinación visomotriz. *Anales de psicología*, 1990; 6 (2): 221-231.

Romero Mora, J., García García, J.A., García y Beltrán, A. Aspectos temporales en la visión: resolución, efectos y percepción del movimiento. En: *Curso introductorio a la Óptica Fisiológica*. Granada: Comares, 1996, p. 240-243.

Rosner, J. *Pediatric Optometry*. Boston: Butterworths, 1982. Citado por Matilla, T., Bueno del Romo, G. Sistemática del análisis visual en el preescolar. En: López Alemany, A. (Ed.) *Optometría Pediátrica*. Valencia: Ulleye, 2005, p. 130-131.

Rota-Bartelink, A. The diagnostic value of automated flicker threshold perimetry. *Curr Opin Ophthalmol*, 1999; 10: 135-139.

Rouse, M.W., DeLand, P., Christian, R., Hawley, J. A comparison study of dynamic visual acuity between athletes and nonathletes. *J Am Optom Ass*, 1988; 12 (59): 946-950.

Saito, H., Kishida, K., Endo, Y., Saito, M. Studies on bottle inspection task. *Journal of Science Labour*, 1972; 48: 475-525.

Saito, Y., Matsumoto, K. Variations of physiological functions and physiological measures and their relationship on delayed shift of sleeping time. *Sangyo Igaku*, 1988; 30 (3): 196-205.

Sánchez-Carpintero, R., Narbona, J. Revisión conceptual del sistema ejecutivo y su estudio en el niño con trastorno por déficit de atención e hiperactividad. *Revista Neurología*, 2001; 33 (1): 47-53.

Sanderson, F.H., Whiting, H.T.A. Dynamic visual acuity and performance in a catching task. *Journal of Motor Behaviour*, 1974; 6: 87-94.

Sanderson, F.H., Whiting, H.T.A. Dynamic visual acuity: a possible factor in catching performance. *Journal of Motor Behaviour*, 1978; 10: 7-14.

Sandry, M. Critical flicker frequency in multiple sclerosis. *Perceptual and Motor Skills*, 1963; 16: 103-108.

Sato, O., Kawabata, H., Watanabe, H., Khoro, S., Omote, K., Namiki, A., Kishi, R. Fatigue and stress of anesthesiologists at work third report: investigation with a flicker photometer and a stabilo-meter. *Masui*, 1995; 44 (5): 674-678.

Scheiman, M., Wick, B. Disfunciones oculomotoras. En: *Tratamiento Clínico de la Visión Binocular*. Madrid: Ciagami, 1996, p. 379.

Schmäl, F., Kunz, R., Ortman, C., Stoll, W., Nieschalk, M., Fechner, G. Effect of ethanol on dynamic visual acuity during vertical body oscillation in healthy volunteers. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2000; 257: 485-489.

Seitz, A.R., Nanez, J.E., Holloway, S.R., Watanabe, T. Perceptual Learning of Motion Leads to Faster Flicker Perception. *Plos ONE*, 2006; 20; 1: e28.

Seki, K., Hugon, M. Critical flicker frequency (CFF) and subjective fatigue during an oxyhelium saturation dive at 62 ATA. *Undersea Blomed Res*, 1976; 3 (3): 285-289.

Shankar, H., Pesudovs, K. Critical flicker fusion test of potential vision. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 2007; 33 (2): 232-239.

Sharma, P., Sharma, B.C., Puri, V., Sarin, S.K. Critical flicker frequency: diagnostic tool for minimal hepatic encephalopathy. *J Hepatol*, 2007; 47 (1): 67-73.

Sharma, T. Effects of 10 mg and 15 mg oral procyclidine on critical flicker fusion threshold and cardiac functioning in healthy human subjects. *Journal of Psychopharmacology*, 2002; 16 (2): 183-187.

Shinar, D. Driver Visual Limitations, Diagnosis and Treatment (NHTSA), 1977. Citado por: Noy, I. Visual perception, Age, and Driving. En: Karwowski, W. (Ed.) *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*. Boca Raton FL: CRC Press, 2006; Vol.1, p. 558-560.

Sillero, M. *Protección ocular*. Curso de postgrado en Visión y Deporte, 2004. Universidad Complutense de Madrid, Escuela Universitaria de Óptica y Optometría, Madrid.

Sillero, M. *Cambios en la fisiología ocular durante el ejercicio*. Primera Jornada Nacional de Visió i Esport, 2006, INEFC, Lleida.

Simonson, E., Enzer, N. Measurement of fusion frequency of flicker as a test of the central nervous system; observations on laboratory technicians and office workers. *J Indust Hyg & Toxicol*, 1941; 23: 83. Citado por Larson, P.S., Finnegan, J.K., Haag, H.B. Observations on the effect of cigarette somking on the fusion frequency of flicker. *J Clin Invest*, 1950; 29 (4): 483-485.

Simonson, E., Enzer, N., Blankstein, S. The influence of age on the fusion frequency of flicker. *Journal of Experimental Psychology*, 1941; 29: 252-255.

Skoczenski, A.M., Norcia, A.M. Late maturation of visual hyperacuity. *Psychol Sci*, 2002; 13 (6): 537-541.

Smith, L., Mason, C. Reducing night shift exposure: a pilot study of rota, night shift and age effects on sleepiness and fatigue. *J Hum Ergol*, 2001; 30 (1-2): 83-87.

Srithongchai, S., Intaranont, K. A study of impact of shift work on fatigue level of workers in a sanitary-ware factory using a fuzzy set model. *J Hum Ergol*, 1996; 25 (1): 93-99.

Stine, C.D., Arterbum, M., Stern, N.S. Vision and Sports: A review of the literature. *J Am Optom Ass*, 1982; 53: 627-633.

Solé Fortó, J., Quevedo i Junyent, Ll., Augé Serra, M., Morales Aznar, J. El control de l'entrenament de la resistència: importància de la freqüència crítica de fusió ocular. *Apunts: Educació física y deportes*, 2004; 76: 28-34.

Takahashi, K., Sasaki, H., Saito, T., Hosokawa, T., Kurasaki, M., Saito, K. Combined effects of working environmental conditions in VDT work. *Ergonomics*, 2001; 44 (5): 562-570.

Tanner W.P. A Preliminary Investigation of the Relationship between Visual Function of Intermittent Light and Intelligence. *Science*, 1950; 112: 201-203. Citado por Loranger, A.W., Misiak, H. Critical flicker frequency and some intellectual functions in old age. *J Gerontol*, 1959; 14: 323-327.

Tejero, P., Pastor, G., Crespo, A. Exploración visual y movimientos oculares en conductores con distinta experiencia: Una revisión. *Anales de psicología*, 2004; 20 (1): 127-145.

Teller, D.Y. Measurements of visual acuity in human and monkey infants: the interface between laboratory and clinic. *Behav Brain Res*, 1983; 23: 15-23.

Thiffault, P, Bergeron, J. Monotony of road environment and driver fatigue: A simulator study. *Accident Analysis and Prevention*, 2003; 35: 381-391.

Tyler, C. W., Hamer, R. D. Analysis of visual modulation sensitivity. IV. Validity of the ferry-Porter law. *J Opt Soc Am A*, 1990; 7: 743.

Ueda, T., Nawa, Y., Okamoto, M., Hara, Y. Effect of pupil size on dynamic visual acuity. *Perceptual and Motor Skills*, 2007; 104(1): 267-272.

Ueda, T., Nawa, Y., Yukawa, E., Taketani, F., Hara, Y. Change in dynamic visual acuity (DVA) by pupil dilation. *Human Factors*, 2006; 48 (4): 651-655.

Urgellés Loiré, L. Algunas consideraciones sobre la fatiga: revisión bibliográfica. *Revista cubana de medicina*, 1985; 24 (10): 1088-100.

Van Diepen, P.M. J., Wampers, M., d'Ydewalle, G. Functional division of the visual field moving mask and moving windows. En G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception*. Oxford: Elsevier, 1998, p. 337-355.

Velten, I.M., Korth M., Horn, F.K., Budde W.M. Temporal contrast sensitivity with peripheral and central stimulation in glaucoma diagnosis. *Br J Ophthalmol*, 1999; 83: 199-205.

Vianya-Estopà, M., Douthwaite, W.A., Pesudovs, K., Noble, B.A., Elliot, D.B. Development of a Critical Flicker/Fusion Frequency Test for Potential Vision Testing in Media Opacities, *Optom Vis Sci*, 2004; 81 (12): 905-910.



Vlahov, E. Effects of the Harvard Step Test on visual acuity. *Perceptual and Motor Skills*, 1977; 45: 369-370.

Waller, D. Levander, S. Smoking and vigilance. The effects of tobacco smoking on CFF as related to personality and smoking habits. *Psychopharmacology*, 1980; 70 (2): 131-6.

Watanabe, Y. Effect of 15-minute bicycle work load on static and kinetic visual abilities. *Journal of Sports Medicine*, 1983; 23: 373-381.

Weissman, S., Freeburne, C.M. Relationship between static and dynamic visual acuity. *Journal of Experimental Psychology*, 1965; 70: 141-146.

Whiting, H.T.A., Sanderson, F.H. The effects of exercise on the visual auditory acuity of table-tennis players. *Journal of Motor Behavior*, 1972; 4: 163-169.

Williams, A.M., Davids, K., Williams, J.G. *Visual perception and action in sport*. New York: Routledge, 1999.

Williams, H.G. *Perceptual and motor development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1983. Citado por Gallahue, D., Ozmun, J.C. Childhood Perception and Perceptual-Motor Development. *Understanding motor development infants, children, adolescents, adults*. 6ª Ed. Boston: McGraw Hill Higher Education, 2006, p. 263.

Wist, E.R., Schrauf, M., Ehrenstein, W.H. Dynamic vision based on motion-contrast: changes with age in adults. *Exp Brain Res*, 2000; 134: 295-300.

Woods, R.L., Thomson, W.D. The effects of exercise on various aspects of visual function. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 1995; 15: 5-12.

Woung, L.C., Wakamura, M., Ishikawa, S. Critical frequency in acute and recovered optic neuritis. *Jpn J Ophthalmol*, 1993; 37 (2): 122-129.

Zhang, M., Bi, L.F., Ai, Y.D., Yang, L.P., Wang, H.B., Liu, Z.Y., Sekine, M., Kagamimori, S. Effects of taurine supplementation on VDT work induced visual stress. *Amino Acids*, 2004; 26 (1): 59-63.

Zlody, R.L. The relationship between critical frequency fusion (CFF) and several intellectual measures. *Am J Psychol*, 1965; 78: 596-602.

## 16. Anexos

Anexo A. Instrucciones orales proporcionadas de forma previa a la evaluación de la AVD.

“Vamos a valorar la AVD, es decir la capacidad de ver detalles de un objeto en movimiento. Fíjate en el disco de la pantalla. Aquí está abierto (agujero blanco) hacia la derecha pero puede estarlo en las cuatro posiciones cardinales (arriba, abajo, derecha e izquierda) y en las posiciones oblicuas (arriba derecha, arriba izquierda, abajo derecha y abajo izquierda). Este disco se desplazará en diagonal sobre la pantalla blanca. Empezará siendo muy pequeño e irá aumentando de tamaño. Cuando sea lo suficientemente grande como para que puedas ver hacia qué lado está abierto entonces señalas la posición con la flecha correspondiente del teclado numérico. Debes intentar ir lo más rápido posible pero también tienes que estar seguro que ves hacia qué lado está abierto el anillo porque los errores se registran.”

Para comprobar que habían entendido el mecanismo del examen y se familiarizasen con el test y el instrumento se realizó una prueba consistente en una serie de 10 presentaciones.

Anexo B. Instrucciones orales proporcionadas de forma previa a la medición de la FCF.

“Vamos a valorar la FCF, es decir la frecuencia de un estímulo luminoso a partir de la cual se percibe como una sensación estable y continua. Siéntate cómodamente ante el Flicker con la zona orbital apoyada sobre el visor y parpadea tres o cuatro veces. Es importante que mantengas fija la mirada en la luz roja. Haremos dos tipos de mediciones Up (arriba) y Down (abajo). Comprueba que en la fase Up la luz roja parpadea, debes presionar el timbre del pulsador hasta que veas la luz como continua, indica al examinador el momento en que esto sucede. En la fase Down, comprueba que la luz roja se percibe como única, debes presionar el timbre del pulsador hasta que veas que la luz empieza a parpadear, indica al examinador el momento en que esto suceda.”

Para comprobar que habían entendido el mecanismo del examen y se familiarizasen con el instrumento se realizó una prueba consistente en una medición Up y Down.

