



Evaluación de la Agudeza Visual Dinámica:

Una aplicación al contexto deportivo

Lluïsa Quevedo i Junyent

Departament d'Òptica i Optometria



Terrassa, 2007

DEPARTAMENT D' OPTICA I OPTOMETRIA
ESCOLA UNIVERSITARIA D'OPTICA I OPTOMETRIA DE
TERRASSA
UNIVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA

Evaluación de la Agudeza Visual Dinámica: Una aplicación al contexto deportivo

Doctoranda:

Lluïsa Quevedo i Junyent. Licenciada en Psicología. Diplomada en Optica y Optometria.

Directores:

Dr. D. José Antonio Aznar-Casanova. Doctor en Psicología. UB
Dra. Dña. M^aDolores Merindano Encina. Doctora en Ciencias Biológicas. UB.

Terrassa 2007

*Amb tota humilitat, a la memòria de Sir Alexander Fleming,
qui amb el seu descobriment ha salvat tantes
vides...*

*Al Joan, la Irene i l'Albert,
sempre.*

Agraïments

Revisant per enèsima vegada les pàgines d'aquesta tesi, he de fer un esforç considerable per recordar quan vaig començar a interessar-me per l'agudesia visual dinàmica. Resulta molt difícil d'esbrinar per que a aquestes alçades sento que hem recorregut plegades mitja vida, però molt possiblement, va ser als voltants de l'any 1994-95, quan encara no m'havia llicenciat en psicologia. Ha passat moltíssim temps, i inevitablement hi ha hagut moments bons i menys bons, però en tot cas, en mirar enrere me n'adono que de no haver estat per l'ajut d'un munt de persones i entitats, aquesta tesi no hagués vist mai la llum. Entre tots aquells que han col·laborat en la materialització d'aquest projecte desitjo mencionar molt especialment,

Als meus directors, el Dr. José Antonio Aznar-Casanova i la Dra María Dolores Merindano Encina. Curiosament, em manquen les paraules, però sento que els estaré eternament en deute pel seu ajut a tots els nivells. Ha estat un luxe treballar sota la seva tutela, i espero seguir fent-ho.

Als alumnes de la diplomatura en Òptica i Optometria, i abnegats participants. Igualment, a les Seleccions Nacional Espanyola i Catalana de Waterpolo, gràcies per aguantar estoicament les inacabables proves.

A l'Escola Universitària d'Òptica i Optometria de Terrassa (Universitat Politècnica de Catalunya), al Centre d'Alt Rendiment de Sant Cugat del Vallès, i a la Facultat de Psicologia de la Universitat de Barcelona, per deixar-me utilitzar els seus materials i instal·lacions.

Als doctors Joan Solé i Fortó, José Antonio Aznar-Casanova, i Alejandro Maiche Marini, per les seves idees per millorar el DinVA.

Als professors Gerald Long, Albert Prestrude i Eugene Wist. Els seus treballs sobre agudesia visual dinàmica han estat una verdadera inspiració per mi. Igualment, he de citar als pioners en la investigació sobre Optometria Esportiva a l'Estat Espanyol, fent una menció especial als doctors Juan Luís Fradua, Pilar Plou i Manuel Sillero per la seva amistat.

Als enginyers informàtics Edgar Villarraga i Claudia Pérez, per implementar el programa DinVA 3.0.

Al professor Carlos Saona Santos, per compartir tan generosament els seus coneixements sobre ciències de la visió i per l'afecte que sempre m'ha demostrat.

Al Fernando Palomar per prestar-me el seu optotipus i oferir-me el seu ajut en diverses ocasions.

Als meus "soferts" companys, la Carme, la Montse, el Carlos, el Genís i el Xavi, entre d'altres coses, per resignar-se generosament a les diverses remodelacions de despatx i laboratori a les quals els he sotmès.

Al Dr Edison Valencia, el meu germà de DEA i Tesis, per regalar-me el disseny de la portada i pel seu valuós assessorament en la edició d'aquest text.

Als meus companys del departament d'Òptica i Optometria de la Universitat Politècnica de Catalunya perquè, qui més qui menys, en algun moment han ofert el seu recolzament i mostrat el seu afecte. Molt especialment, he de mencionar a les *Psicogirls* per la complicitat que comporta una aposta comú, i a l'Héctor Abril, al Jaume Escofet, al Fidel Vega i al Josep Lluís Alvarez per la seva implicació.

Al Jesús Quevedo, el meu pare, per contagiar-me alguna cosa de la seva curiositat insaciable, el seu amor pels llibres i la seva set de coneixements.

A la Lluïsa Junyent, la meva mare, per ser el meu millor exemple de lluita i constant superació, siguin quins siguin els reptes plantejats.

Per últim, però de forma molt especial, als avis dels meus fills: Jesús, Lluïsa, Joan i Paquita, per regalar-me un temps preciós per dedicar a aquest treball.

De tot cor, gracies a tothom.

Índice

1. Introducción	1
 Estado del Arte	
2. Bases Psicofísicas de la Percepción Visual	9
 3. Optometría	
3.1. Introducción a la optometría	17
3.2. Habilidades visuales	19
3.2.1. Movimientos oculares	19
3.2.2. Acomodación: Flexibilidad acomodativa	21
3.2.3. Fusión: Flexibilidad de fusión	22
3.2.4. Percepción de la profundidad	22
3.2.5. Visión periférica	22
3.2.6. Agudeza visual estática	24
3.2.7. Sensibilidad al contraste	29
3.3. Agudeza visual dinámica	35
3.3.1. Concepto, relaciones e implicaciones	35
3.3.2. Evaluación	42
• Nivel clínico	42
• Nivel experimental	45
 4. Visión y deporte	
4.1. Introducción histórica	48
4.2. Evidencias científicas	51
4.3. Areas de actuación	56
• Protección ocular	58
• Neutralización óptica	59
• Entrenamiento visual	60

Parte Experimental

5. Programa informático DinVA 3.0 para evaluar la agudeza visual dinámica	63
5.1. Diseño y desarrollo	63
5.2. Características	67
6. Validación del test DinVA 3.0. como instrumento para la determinación de la agudeza visual dinámica	78
6.1. Validez de constructo: Determinación de la influencia del contraste, la velocidad y la trayectoria en la agudeza visual dinámica	78
6.2. Validez interna: Determinación de la consistencia interna	96
6.3. Fiabilidad test-retest: Estudio de la consistencia temporal	107
7. Aplicación del test DinVA 3.0	114
7.1. Estudio diferencial sobre la agudeza visual dinámica de jugadores de waterpolo de élite y sedentarios.	114
8. Conclusiones	125
9. Referencias bibliográficas	129
10. Anexo 1	154
1.1. Protocolo de realización de los ensayos del Experimento 1	154
1.1.a. Instrucciones a los participantes	156
1.2. Protocolo de realización de los ensayos del Experimento 2	157
1.2.a. Instrucciones a los participantes	159
1.3. Protocolo de realización de los ensayos del Experimento 3	160
1.4. Protocolo de realización de los ensayos del Experimento 4	161
11. Anexo 2: Pantallas	162

Introducción

Introducción

La competitividad que comportan situaciones tan dispares como las guerras o las Olimpíadas ha impulsado avances tecnológicos de gran relevancia social. Por citar solo un ejemplo, recordemos que el estudio de la visión de los pilotos americanos durante la Segunda Guerra Mundial propició, entre otras, la aparición de gafas de protección solar con excelente óptica, así como nuevas técnicas para mejorar la visión y la calidad de vida de la población en general (Gregg, 1987). Así mismo, los pulsómetros, diseñados para controlar la función cardiaca de los deportistas de elite se han transformado en un instrumento de uso generalizado, entre otros, para los enfermos del corazón.

Dejando a un lado los asuntos bélicos, y centrándonos en el deporte, debemos reconocer que se ha convertido, en los últimos años en un fenómeno singular de nuestra sociedad. Su fácil interpretación desde cualquiera de las diferentes culturas comporta una enorme repercusión social (Olivera, 1993). Esta aceptación generalizada, ha posibilitado que su desarrollo se haya producido en múltiples áreas como son la recreativa, la centrada en el ámbito de la salud, y el alto rendimiento como generador de espectáculo, cautivando el interés de diversas ciencias con el objetivo de conseguir cotas más elevadas de rendimiento. Este es el caso de la medicina (medicina deportiva), la física (biomecánica), la psicología (psicología del deporte), y más recientemente la optometría, ciencia de la visión centrada en la medición y análisis de la función visual.

Dado que la visión resulta esencial para la adaptación al medio dinámico y constantemente cambiante que rodea al deporte, y que constituye uno de los principales mecanismos de control de la acción, su importancia y la necesidad de gozar de una función visual eficiente resultan obvias. Recordemos que en el deporte, tanto los jugadores como los objetos utilizados, con frecuencia se mueven describiendo complejas trayectorias, y que el rendimiento se basa, en gran medida, en la capacidad de estos jugadores para percibir, analizar, tomar

decisiones y actuar en un espacio dinámico, caracterizado por un déficit temporal.

Actualmente, la optometría aplicada al deporte desarrolla su campo de actuación en diversas áreas, entre las cuales destacamos la evaluación de las habilidades visuales relacionadas con el contexto deportivo. De nuevo, si consideramos las características dinámicas de la mayor parte de disciplinas deportivas (especialmente las de equipo), que generalmente involucran constantes cambios en el entorno, movimientos repentinos de los jugadores y la pelota, velocidad, etc., debemos aceptar que el análisis de la funcionalidad del sistema visual en ningún caso puede limitarse únicamente a la valoración de la agudeza visual estática, y que tiene que complementarse con la evaluación de habilidades visuales más específicas del ámbito deportivo como son la visión periférica, la percepción de las distancias o la agudeza visual dinámica.

Sin embargo, y a pesar de que existe un acuerdo unánime en aceptar que visión es mucho más que agudeza visual, rebasada la frontera del nuevo milenio, la agudeza visual estática, sigue siendo la habilidad visual más frecuentemente evaluada y analizada a nivel clínico. Los optotipos más utilizados para medir la agudeza visual estática son las letras de Snellen y la C o anillo de Landolt, tests de más de 100 años (Westheimer, 2001).

Existen dos aspectos principales que ponen de relieve la inadecuación de medir únicamente la agudeza visual estática para valorar el funcionamiento del sistema visual. En primer lugar, en la vida real, y con más razón en el deporte, los estímulos visuales a los que debemos responder suelen conllevar algún tipo de movimiento. Por ello, pensamos que goza de mayor validez ecológica la valoración de la agudeza visual dinámica.

Otra limitación de los tests de agudeza visual estática hace referencia a que las letras o símbolos utilizados aparecen normalmente en condiciones de máximo contraste (negro sobre blanco). De nuevo, recordemos que en el deporte o incluso en las situaciones cotidianas es difícil encontrar niveles tan elevados de

contraste. Por ejemplo, las señales viarias sobre el paisaje, las pelotas de tenis sobre la pista o los desniveles en la práctica del esquí, sin considerar los efectos adversos del atardecer, la niebla o la lluvia sobre la percepción de la forma.

Desde una perspectiva más social, precisamente en el ámbito de la seguridad vial y la conducción de vehículos, la agudeza visual dinámica también se considera sensiblemente ligada al rendimiento en actividades como son la lectura de paneles y señales de tráfico (Long y Kearns, 1996), o el pilotaje de coches (Burg 1967,1968) y aviones (Kohl, Coffey, Reichow et al., 1991).

Con todo ello, no resulta extraña la popularidad de la que actualmente gozan los instrumentos para evaluar la función de sensibilidad al contraste, y se hace más que evidente la necesidad de contar con algún instrumento para determinar la agudeza visual dinámica, que involucre de alguna manera la función de sensibilidad al contraste.

De hecho, hace ya casi veinte años, el *Comitee on Vision* del *National Research Council* (1985) de los Estados Unidos de América declaró en su libro *Emergent Techiniques for Assessment of Visual Performance*, que la agudeza visual dinámica resulta ser mucho más útil para evaluar el rendimiento en tareas cotidianas que las valoraciones visuales estáticas. Y añade que la combinación de las medidas de la agudeza visual dinámica junto con las de la función de sensibilidad al contraste, sin duda ofrecería valoraciones más válidas y potentes de la funcionalidad del sistema visual, y recomiendan la inclusión de su evaluación en las baterías de exámenes visuales para automovilistas, pilotos de aviación y deportistas.

Desafortunadamente, con referencia a la agudeza visual dinámica, debemos remarcar que a la hora de realizar un examen clínico en general, y a un deportista en especial, nos encontramos con un importante vacío de instrumentos específicos, de probada fiabilidad y validez (Coffey y Reichow, 1990; Banks, Moore, Liu y Wu 2004; Quevedo y Aznar-Casanova, 2005).

Por otro lado, al margen y a pesar de las limitaciones que presentan los aparatos diseñados para la medición de la agudeza visual dinámica, y en la misma línea de las conclusiones ofrecidas por numerosos trabajos de investigación que apuntan a una superioridad inequívoca de las habilidades visuales de los deportistas con respecto a las de los individuos sedentarios (Ando, Kida y Oda, 2001; Fernández-Velázquez, 1993; Kluka, 1990; Stine, Arterburn y Stern, 1982), la bibliografía especializada, no sin cierta controversia, nos informa de mejores valores de agudeza visual dinámica en deportistas cuya disciplina requiere de la percepción visual de algún objeto en movimiento (Rouse, De Land, Christian y Hawley, 1988; Ishigaki y Miyao, 1993).

Volviendo a la denunciada falta de instrumentos para valorar una habilidad tan intrínsecamente ligada a las características del deporte como la agudeza visual dinámica, y dado que sufrimos a diario las consecuencias en nuestro trabajo con deportistas de elite en el Centro de Visión del CAR de Sant Cugat del Vallés, decidimos diseñar un instrumento de medida, fundamentado en los conocimientos neurofisiológicos y psicofísicos más actuales, e implementado en un programa de ordenador que nos permitiera valorar la agudeza visual dinámica de modo más objetivo y específico. Así surgió la idea de crear el programa informático DinVA, constituyendo el objetivo fundamental marcado en esta tesis.

Actualmente, una de las teorías que goza de mayor apoyo empírico, y por tanto, más aceptada como modelo explicativo del procesamiento visual inicial (estático y dinámico), es la *teoría multicanal* (Campbell y Robson, 1968). Este modelo propone que cada banda de frecuencias espaciales y orientaciones es procesada por un canal psicofísico independiente. De acuerdo con esto, habilidades como la función de sensibilidad a los contrastes, y la percepción de la forma o del movimiento, serían el reflejo de la actividad de un número determinado de canales psicofísicos especializados (sintonizados) cada uno de ellos en responder a un estrecho rango de frecuencias espaciales o de orientaciones, velocidades, etc., y que operan en paralelo.

En consecuencia, la teoría multicanal supone que el sistema visual humano ejecuta una especie de análisis de la imagen de entrada, y que en cada modalidad sensorial, los distintos canales están especializados en procesar ciertas propiedades del estímulo contenidas en el patrón espaciotemporal de distribución de la luz que llega a la retina (Campbell y Robson, 1968; Maffei y Fiorentini, 1973).

En el caso concreto de la percepción del movimiento (fundamento de la agudeza visual dinámica), por tratarse de una magnitud vectorial, encontramos dos magnitudes básicas que son la trayectoria (α) o dirección/orientación del vector, y la velocidad (σ) o intensidad del movimiento. Adicionalmente, el contraste (m), como factor esencial en la percepción de un estímulo visual, será otro elemento de gran relevancia en el estudio que presentamos.

Una revisión de los antecedentes científicos de la percepción del movimiento nos revela que propiedades del estímulo visual como la frecuencia espacial, el tamaño, el contraste, la orientación, el tiempo de presentación y el color, influyen en el juicio de los seres humanos sobre la velocidad percibida o la trayectoria del movimiento (Maiche, 2002).

En este sentido, Campbell y Maffei (1981) evidenciaron una relación entre la frecuencia espacial y la velocidad aparente. Por otro lado, Mashhour (1964) (citado por Maiche, 2002) observó una relación entre el tiempo de presentación del estímulo en movimiento y la velocidad percibida. Por último, diferentes investigadores han detectado también una relación entre el contraste y la velocidad percibida en diversas clases de estímulos: Thompson (1982) con estímulos de enrejados sinusoidales, Ferrera y Wilson (1990) con *plaids*, y Castet, Lorenceau, Shiffar et al. (1993) con líneas. Más recientemente, Maiche, Moliner, Mateeff et al. (2001) evidenciaron la relación de la orientación con la velocidad percibida en intersecciones de dos líneas (cruces).

Así, el marco conceptual del presente estudio puede ubicarse en dos áreas de conocimiento muy concretas, y tan diferenciadas como íntimamente relacionadas: La optometría y la psicofísica.

En las páginas siguientes estructuramos la información en los dos grandes apartados que constituyen el marco teórico o estado del arte, y la parte experimental, encontrando diversos capítulos o apartados, que resumimos seguidamente:

El primer capítulo lo constituye propiamente esta introducción, mientras que en el segundo realizamos una aproximación a las bases psicofísicas del sistema visual, presentando las principales características de la teoría multicanal y sus implicaciones en el procesamiento visual de bajo nivel.

En el tercer capítulo, se trata la optometría desde un enfoque comportamental, centrándonos en los postulados que permiten asumir la función visual como un conjunto de habilidades más o menos relacionadas con el control de la acción motriz, así como un ente dinámico en constante interacción con el entorno. En los siguientes apartados se realiza, en principio, una breve descripción de las habilidades visuales, y posteriormente, una exhaustiva revisión de todos los datos y conclusiones que nos ofrece la literatura científica sobre la agudeza visual dinámica. Esta sección concluye con el análisis de los instrumentos utilizados para evaluar esta habilidad visual, tanto a nivel clínico como experimental.

En el siguiente capítulo, nos acercamos propiamente a la optometría deportiva, haciendo un breve repaso de sus antecedentes históricos, evidencias científicas disponibles actualmente, objetivos y áreas de actuación.

En la parte experimental encontramos un primer apartado dedicado a explicar las diversas tareas llevadas a cabo para la consecución del principal objetivo de esta tesis, esto es, el desarrollo de un instrumento para medir la agudeza visual dinámica. Así, en primer lugar, especificamos las necesidades planteadas y requisitos exigidos, a la vez que resumimos los pasos seguidos hasta conseguir un diseño satisfactorio, debidamente implementado en un programa informático. Tras explicar sus características y detallar su funcionamiento, presentamos posteriormente los estudios realizados para asegurar la legitimidad de su medición.

El primer experimento, desarrollado para observar la influencia del contraste del estímulo en movimiento, la trayectoria y la velocidad sobre la agudeza visual dinámica, evidencia la validez de constructo del test DinVA 3.0.

Adicionalmente, con el segundo y tercer experimento hemos constatado la consistencia interna de nuestro instrumento y la estabilidad temporal de su medición.

Así, estos tres estudios, englobados en el contexto de la psicofísica nos permiten fundamentar la validez y fiabilidad del DinVA 3.0.

El cuarto y último experimento lo constituye un estudio diferencial donde se han comparado los resultados de agudeza visual dinámica obtenidos por una muestra de jugadores de waterpolo de elite, y un grupo de alumnos de la diplomatura en Óptica y Optometría que no realizan ningún tipo de práctica deportiva. Los resultados obtenidos apoyan a los autores que defienden la superioridad de las habilidades visuales (en este caso, la agudeza visual dinámica) de los deportistas que practican disciplinas donde resulta crucial la percepción de un objeto en movimiento.

Por último, en el capítulo 8 se presentan las conclusiones extraídas del trabajo realizado en esta tesis doctoral así como algunas aplicaciones que puedan derivarse de nuestro trabajo en un futuro próximo. En el capítulo 9 se incluye la relación de fuentes bibliográficas referidas a lo largo del texto.

Al margen de los capítulos citados, se incluyen al final de la tesis 2 anexos. El primero de ellos está dedicado a la presentación de las fichas utilizadas para registrar los datos de cada estudio. En el segundo anexo adjuntamos diferentes pantallas del programa informático DinVA 3.0. que facilitan la comprensión de las características y funcionamiento descritos en el texto.

Por último, deseamos enfatizar que el interés de este trabajo radica en el diseño, implementación y legitimación de un instrumento de medida de una habilidad visual, cuya importancia ha sido reiteradamente reconocida en

diversos ámbitos como son el deportivo o el de la seguridad viaria, pero para cuya valoración, no contamos con ningún aparato fiable, debidamente validado y que resulte de fácil de aplicación clínica.

Estado del arte

Bases Psicofísicas del sistema visual

2. Bases Psicofísicas de la Percepción Visual

Así como la Neurofisiología sensorial se ha construido sobre los cimientos del concepto de los Campos Receptores (CRs) retinales, las redes de conexiones que se dan entre las células constitutivas de estos CRs, y la arquitectura anatomofisiológica del sistema visual en general, análogamente, la Psicofísica visual moderna se fundamenta en el concepto de canal psicofísico, una vía de procesamiento neural por la que circula información seleccionada o filtrada que se caracteriza por satisfacer ciertas propiedades.

Como consecuencia de la realización de numerosas investigaciones (Campbell y Robson, 1968; Blakemore y Campbell, 1969; Kulikowski y King-Smith, 1973; Daugman, 1984, citados por Aznar-Casanova, 1999) aparecieron dos posibles modelos alternativos del funcionamiento del sistema visual humano: el modelo unicanal y el modelo multicanal.

1. Teoría Unicanal de la visión espacial humana: Según Vicente Sierra (1992), un canal psicofísico es una disposición espacial (bidimensional) uniforme de elementos idénticos, cada uno de los cuales se ocupa de un área limitada del campo visual, que compartiendo una misma función, varían sólo en su posición. El concepto de canal implica, al igual que el de filtro, una cierta idea de selección de características, observando que parece ser un concepto equivalente al de CR desde del enfoque de la Psicofísica Visual actual, que se complementa con el enfoque propio de las Neurociencias.

Para caracterizar un filtro, es preciso conocer la forma de la Función de Transferencia de Modulación del sistema, que expresa la ganancia en función de las frecuencias orientadas (u , v), y los cuatro parámetros siguientes:

- La frecuencia espacial óptima.
- La orientación óptima.
- La anchura de banda en frecuencia espacial (rango de frecuencias en la orientación óptima al que se halla sintonizado el filtro).
- La anchura de banda en orientación (rango de orientaciones en la frecuencia espacial óptima a la que se halla sintonizada el filtro).

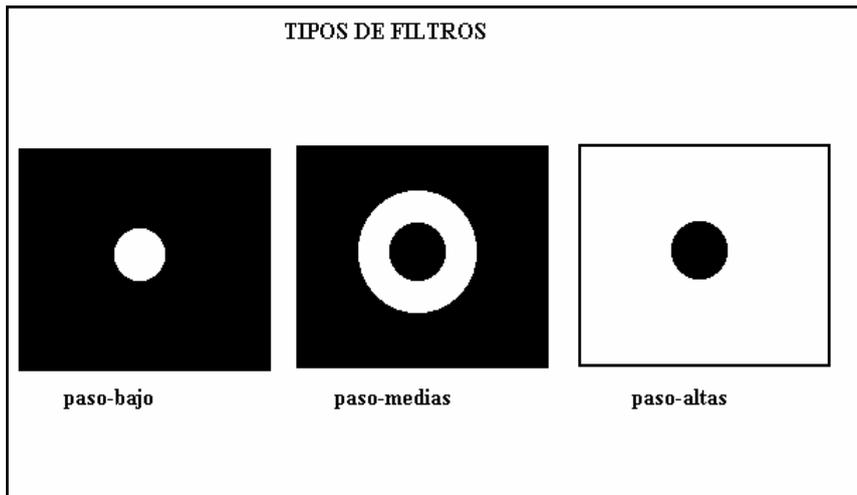


Figura 2.1. Filtros en el dominio frecuencial. (Extraído de Aznar-Casanova 1999).

Según el rango o intervalo de frecuencias espaciales seleccionado (véase Fig.2.1) un filtro puede ser:

- a) Filtro paso-bajo: cuando deja pasar todas las frecuencias espaciales iguales o inferiores a una dada, incluyendo al componente continuo (origen de coordenadas, índice de la luminancia media de la imagen o nivel medio de brillo) y elimina las superiores a ella.
- b) Filtro paso-alto: cuando deja pasar todas las frecuencias espaciales iguales o mayores que una frecuencia dada y elimina las inferiores a ella.
- c) Filtro paso-banda: cuando sólo deja pasar un rango de frecuencias espaciales y elimina todas las que se hallan fuera de tal rango.

Así, la Teoría Unicanal de la visión espacial supone simplemente que el sistema visual humano funciona como un único filtro espacial, cuyas características vienen definidas por la función de sensibilidad a los contrastes. Por ello, ante cualquier imagen (o señal bidimensional) que se introduzca en el sistema, se producirá, como respuesta, una versión filtrada del espectro de la señal original, atenuando las frecuencias espaciales altas y bajas. La consecuencia visible de ese filtrado es que la imagen de salida que constituye la representación interna, es una versión borrosa de la imagen original, en la que los objetos de tamaño medio han sido atenuados menos que los grandes o

que los detalles. Esto es así, porque al parecer, un solo canal no puede capturar la estructura espacial (o temporal) de la imagen estimular, sino sólo resaltar algunas de sus características espaciales (o temporales). Además, la detectabilidad de la imagen dependerá del umbral de percepción del contraste entre sus componentes armónicos.

El hecho de que esta teoría permita interpretar sólo parcialmente los experimentos de detección de estímulos realizados, reclama un modelo alternativo, más completo y algo diferente para explicar las etapas iniciales de la visión espacial humana.

2. Teoría Multicanal de la visión espacial humana: Según Campbell y Robson (1968), el sistema visual humano funciona como un conjunto de detectores independientes, cada uno de ellos precedido de un filtro de banda relativamente estrecha, sintonizado a una frecuencia espacial diferente, denominada frecuencia de sintonía.

Cada filtro y detector constituye un canal separado, y cada canal tiene su propia función de sensibilidad al contraste. De acuerdo con esto, la función de sensibilidad al contraste del sistema visual global sería la resultante de la sensibilidad al contraste de todos los canales independientes, pudiendo darse la detectabilidad de modo independiente en aquel canal que sea sensible a una cierta banda de frecuencias espaciales. En consecuencia, la Teoría Multicanal presupone que el sistema visual humano ejecuta algo así como un análisis de Fourier troceado (por canales) de la imagen de entrada, y que cada canal analiza unos determinados componentes espectrales (frecuencia, amplitud, orientación, fase, longitud de onda, velocidad, etc).

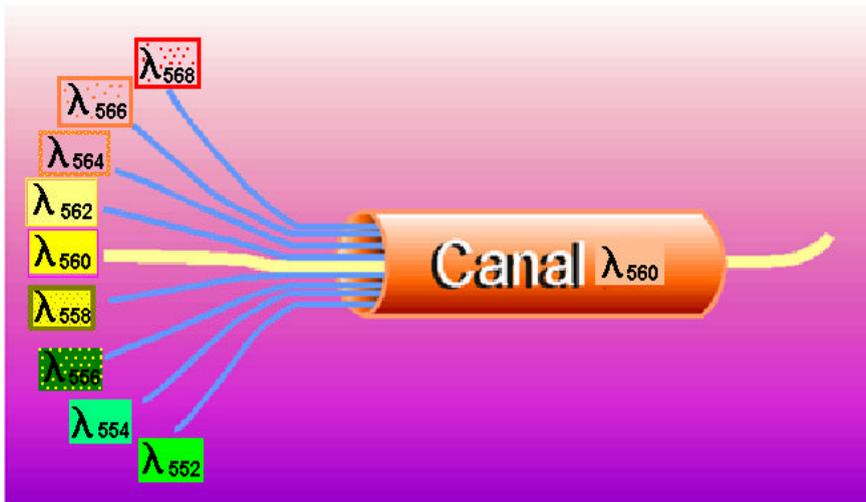


Figura 2.2. Ejemplo de un canal psicofísico sintonizado al color amarillo ($\lambda = 560$ nm). Obviamente, este canal también responde a luces de longitudes de onda próximas a la preferente. (Cortesía de Aznar-Casanova).

Los resultados de las numerosas investigaciones realizadas son consistentes con la existencia de múltiples canales selectivamente sensibles a la frecuencia espacial (Graham y Nachmias, 1971; Sachs, Nachmias y Robson, 1971; Graham, Robson y Nachmias, 1978, citados por Sierra, 1992), y a la orientación para una amplia variedad de estímulos espaciales como barras, bordes, enrejados... (Campbell y Kulikowski, 1966, citados por Aznar-Casanova, 1999; Kelly y Burbeck, 1984, citados por Sierra, 1992).

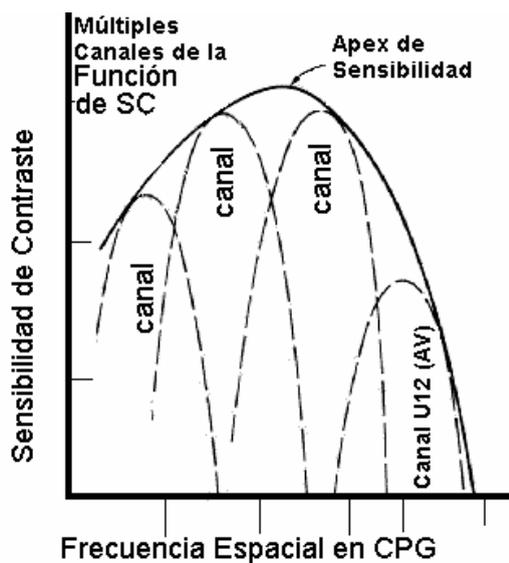


Figura 2.3. Cobertura, en el dominio espectral, de los canales psicofísicos sintonizados a los diferentes contrastes. La suma de todos estos canales, compone la FSC (Función de Sensibilidad al contraste). (Adaptado de Sekuler y Blake, 1990).

Con respecto a la arquitectura funcional psicofísica de la visión espacial humana, y con el fin de explicitar algunas de las características más importantes de la Teoría Multicanal, los trabajos experimentales citados presentan modelos que comparten, en su mayoría, las siguientes proposiciones:

- a) En lo que se refiere a la visión espacial, el sistema visual humano está compuesto por un cierto número de mecanismos lineales (canales) separados e independientes, actuando en paralelo en cada posición espacial. No existe interacción entre los canales.
- b) En el dominio espectral cada canal está sintonizado conjuntamente a una banda moderadamente estrecha (una octava) de frecuencias espaciales en una banda (30°) de orientaciones. Cada canal se ocupa de dos regiones elipsoidales y propias del plano de Fourier, por lo que los canales pueden caracterizarse diciendo que son filtros bidimensionales lineales paso-banda en frecuencia espacial y orientación.
- c) La disposición espectral de los canales es tal que cubren todo el rango de frecuencias espaciales visibles naturalmente por el ser humano y todo el rango de orientaciones, pavimentando la región del plano de Fourier comprendida en un círculo de aproximadamente $60c/^\circ$ de radio (Límite de Nyquist), (Daugman 1984, citado por Aznar1999).
- d) En el dominio espacial cada canal es un conjunto discreto de sensores distribuidos espacialmente, ocupándose cada sensor de un área limitada del campo visual.
- e) Cada localización del campo visual está servida simultáneamente por sensores de canales diferentes, es decir, de diferentes tamaños, frecuencias espaciales y orientaciones. Una estimación plausible es de 36 a 40 sensores actuando simultáneamente en cada localización.

- f) Para procesos de codificación, la salida psicofísica de una imagen estimular por cualquier canal es el conjunto de respuestas (suma) a la imagen de todos y cada uno de los sensores que componen el canal, y puede considerarse la representación visual interna o imagen psicofísica por ese canal de la imagen estimular. Si existen “n” canales, existirán “n” salidas o representaciones internas, versiones paso-banda y orientadas diferente de la imagen estimular.

- g) Para procesos de detección, una imagen cualquiera es detectada por el sistema visual humano siempre que la amplitud máxima de una cualquiera de esas salidas sea superior al nivel criterio del canal correspondiente, o lo que es lo mismo, cuando al menos la respuesta, de un sensor de algún canal sea superior al nivel criterio de ese canal (umbral).

Con todo ello, la percepción visual de la forma y los fenómenos asociados a ella emergen como resultado de la codificación de la imagen estimular en la etapa de procesamiento inicial, y, aparecen como resultado del filtrado espacial de la imagen estimular por los canales psicofísicos.

Con el fin de integrar la percepción del movimiento que se da en la agudeza visual dinámica en la Teoría Multicanal, asumimos que, para cada modalidad sensorial y, dentro de una en particular, para cada propiedad perceptible, se postula la existencia de un sistema de canales especializados en el análisis de dicha propiedad: frecuencia espacial, frecuencia temporal (movimiento), orientación, fases (disparidad binocular), longitud de onda de la luz, etc.

Por último, aunque las consecuencias perceptivas de las salidas de los canales no son bien conocidas, la capacidad de la Teoría Multicanal como modelo explicativo del procesamiento visual humano estático, nos permite extrapolar los hallazgos científicos referentes a habilidades como la función de sensibilidad a los contrastes o la percepción de la forma, a la percepción visual del movimiento, todos ellos fundamento de la agudeza visual dinámica.

Dado que estos modelos son matemáticamente complicados, nos parece suficiente exponer la idea cualitativa sobre su funcionamiento para extraer la información de la velocidad.

Supongamos un objeto con un cierto espectro frecuencial que se mueve con una velocidad v hacia la izquierda. Dado que en el sistema visual existe un cierto número de filtros, cada uno de ellos sintonizado para una banda determinada de frecuencias espaciales y temporales, se supone que la función de sintonizado espacio-temporal es una gaussiana bidimensional, y por consiguiente, la anchura de banda de cada filtro es la misma en frecuencia espacial que en frecuencia temporal, o lo que es lo mismo, los filtros son circulares en el plano, y además tienen la misma anchura (Shapley y Perry, 1986).

Con estas ideas, el movimiento considerado se representa como se ilustra en la figura 2.4., a cuya izquierda se muestra la localización espectral en el plano espacio-temporal de las frecuencias espaciales (eje de abscisas) y las frecuencias temporales (eje de ordenadas) de nueve filtros localizados en espacio-tiempo. Por otro lado, a la derecha tenemos cuatro representaciones de filtros, sintonizados cada cual, para una determinada velocidad. Suponiendo, por ejemplo, que tenemos nueve filtros numerados del 1 al 9, un patrón o conjunto de respuestas sintonizado para la velocidad v_3 , no tendrá respuesta alguna en los filtros 1, 2, 4, 6, 8, y 9. El filtro 5 es insensible a cualquier cambio de velocidad dado que la sensibilidad espacial del filtro tiene simetría circular. Sin embargo, un pequeño cambio de velocidad, hace que los filtros 3 y 7 respondan un poco menos. Si seguimos cambiando la velocidad, los filtros 3 y 7 responderán progresivamente menos, y a partir de un momento dado, comenzarán a responder los filtros adyacentes. De esta forma, tenemos un continuo de patrones de velocidad, y en definitiva, aquel patrón que de la máxima correlación con nuestro movimiento será el que determine cual es la velocidad.

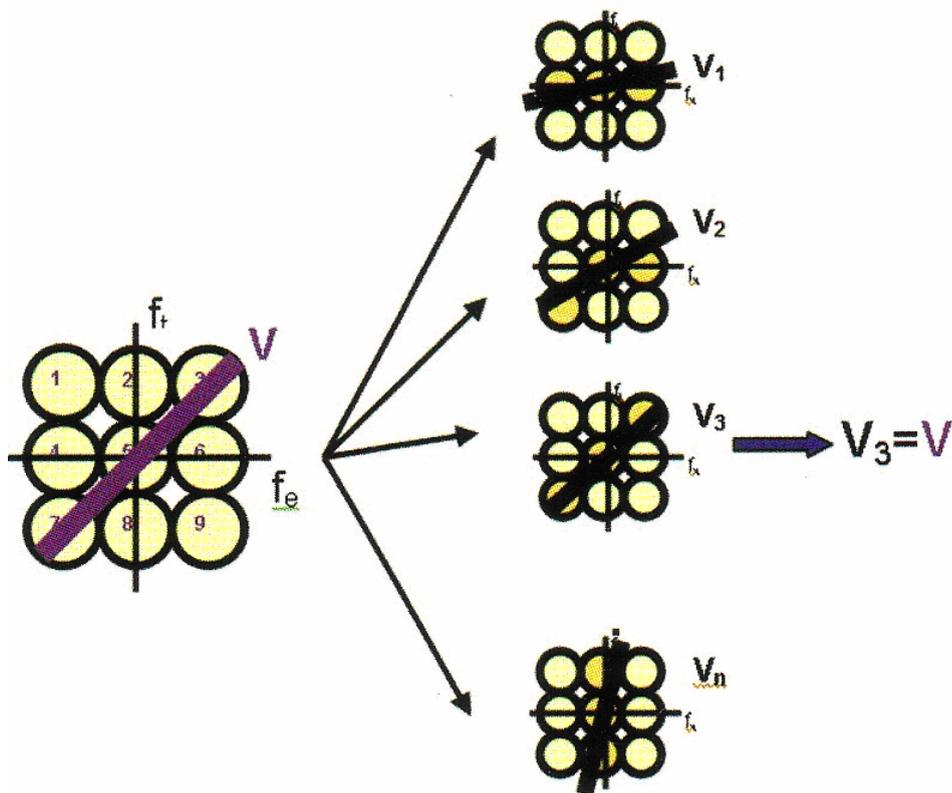


Figura 2.4. Esquema de un banco de filtros sintonizados al movimiento. A la izquierda tenemos la representación espacio-temporal y espectral del movimiento, y a la derecha, las respuestas de cuatro filtros sintonizados a distintas velocidades (Extraído de Fez y Capilla, 2004).

Optometría

3. Optometría

3.1. Introducción a la Optometría

El término Optometría deriva de las palabras griegas *οπτεω* y *μετρον* que significan “ver” y “medir” respectivamente. Según esto, la optometría se centra en la “medida de la visión”. Cline, Hofstetter y Griffin (1980), en su diccionario de Ciencias Visuales la definen como ciencia aplicada a la visión y su cuidado empleando procedimientos no médicos. A pesar de ello, la optometría resulta difícil de definir dado que su campo de acción queda delimitado, no sólo por los objetivos que persigue sino también por las metodologías que se emplean y la forma en como éstas se utilizan.

Al igual que sucede con otras disciplinas científicas, la práctica optométrica se ha desarrollado en función de distintas corrientes filosóficas universales: *Estructuralista o clásica* (que considera que los comportamientos visuales son innatos, genéticamente predeterminados, y que se adquieren filogenéticamente), y *Funcionalista o Comportamental* (que defiende que los comportamientos visuales se aprenden y por tanto pueden entrenarse), (Gilman, 1988; Saona, 1987; Skeffington, 1958).

Centrándonos precisamente en la Optometría Comportamental encontramos postulados como:

1.”La visión es un proceso que se desarrolla, y por tanto es alterable y susceptible de estresarse frente a determinadas actividades y demandas ambientales” (Skeffington, 1958).

2.”La visión se aprende y por tanto se puede entrenar” (Wolf, 1966).

3.”Visión es mucho más que agudeza visual, implicando una serie de habilidades visuales que cobran mayor o menor importancia según la tarea realizada y el contexto donde se desarrolla” (Skeffington, 1958).

Analizando las bases teóricas de esta corriente, observamos que el concepto de *estrés* es un aspecto relevante en esta filosofía. De forma similar, también se enfatiza la importancia de la *interacción entre visión y entorno*, y el hecho que la visión es un proceso más amplio y complejo que la agudeza visual, y que puede *entrenarse*.

Con referencia al *estrés*, y basándose en las directrices del Dr. Hans Selye (1974), que propuso que las condiciones ambientales podrían conllevar una reacción uniforme del organismo, la optometría comportamental defiende que las tareas exigentes y prolongadas en visión próxima dan lugar a que el mundo visual espacial se vea afectado por un estrés, que en ocasiones constituye la causa del desarrollo de diversas disfunciones visuales como son las oculomotoras, acomodativas, binoculares e incluso perceptivas (Gilman, 1988).

Ante ello, la optometría comportamental desarrolla y aplica técnicas para reeducar y potenciar el sistema visual afectado (Wolf, 1966).

Así, podríamos hablar de un estrés negativo que deteriora el funcionamiento visual, y un estrés positivo y controlado que potencia el sistema visual en forma de ejercicios de entrenamiento visual.

Saona (1989), resume todo ello en su definición de la terapia visual como “un conjunto de procedimientos clínicos que se aplican para alterar los comportamientos visuales cuando estos no responden al nivel óptimo de funcionalidad. Tales comportamientos deteriorados son reflejo de adaptaciones del sistema visual ante factores estresantes que le impiden responder adecuadamente ante determinadas tareas visuales”.

Con referencia a la importancia de la interacción *visión-entorno*, se argumenta la influencia que los factores ambientales y las características de la tarea tienen en la función visual. Aunque, como ya se ha explicado, el entorno más estudiado en el contexto optométrico está centrado en el punto próximo (tareas estáticas y prolongadas de cerca), dado que es donde se desarrolla la actividad cotidiana de la mayor parte de la sociedad actual, en plena era tecnológica no

debemos olvidar que también existen multitud de situaciones de diversa índole donde se llevan a cabo tareas que involucran algún tipo de detección visual del movimiento. Entre ellas, la conducción de vehículos, el trabajo con paneles de control o, más concretamente, el deporte, desarrollado prioritariamente en contextos cambiantes, en los que se requiere la intervención de habilidades visuales distintas de la agudeza visual estática.

3.2. Habilidades Visuales implicadas en el deporte

En la especie humana, las habilidades visuales más comúnmente relacionadas con la guía visual de la acción, y por tanto con el rendimiento deportivo, son:

Movimientos oculares (seguimientos, sacádicos y fijaciones), función acomodativa (flexibilidad acomodativa), fusión binocular (flexibilidad de fusión), percepción de las distancias, visión periférica, y sensibilidad visual (agudeza visual estática y dinámica, y función de sensibilidad al contraste).

3.2.1. MOVIMIENTOS OCULARES

En el control visual de la acción es indispensable percibir objetos móviles, y existen tres tipos de movimientos oculares considerados relevantes: Seguimientos, sacádicos y fijaciones. La consideración fisiológica más importante al evaluar el papel de los movimientos oculares en el deporte y en cualquier actividad que requiera respuestas rápidas, es la latencia necesaria para reaccionar ante un objeto en movimiento.

- Los movimientos de seguimiento hacen referencia a la habilidad de perseguir visualmente un objeto que se desplaza lentamente en el espacio. Presentan una latencia de 100 msg. (Carl y Gellman, 1987) y según Gresty y Leech (citados por Berthoz, 1985) alcanzan velocidades máximas de entre 30-40°/seg.

Dado que se relacionan con la visión central, uno de los objetivos más básicos de este tipo de movimientos es ajustar, en lo posible, la velocidad

del ojo del sujeto a la del objeto que se desplaza. El menor error de posición en ese suave movimiento de seguimiento ocular se compensa, normalmente, con la generación de movimientos oculares sacádicos (Bowman y Hotson, 1992).

Así, la Ganancia o Ajuste de la velocidad del ojo respecto a la velocidad del objeto móvil es generalmente de 0.90 a 0.95 cuando el desplazamiento del estímulo no supera los 30-40°/seg. (Schalen, 1980). El ajuste disminuye al aumentar la velocidad y aceleración del estímulo en movimiento, y según Yamazaki y Ishikawa (1973), (citados por Ciuffreda y Tannen, 1995), es menor en trayectorias verticales que horizontales.

Por último, estos movimientos, especialmente importantes en actividades donde el estímulo móvil se desplaza a velocidades relativamente bajas, han demostrado ser susceptibles de mejora (aumentando el ajuste y reduciendo la latencia) mediante entrenamiento (McHugh y Bahill, 1985; Schalen, 1980).

- Los movimientos sacádicos son cortos y rápidos, y permiten al individuo detectar un objeto en un lugar determinado del campo visual y llevarlo rápidamente sobre la fovea, para una mejor discriminación visual. Su latencia estimada es de 200 msg. y pueden alcanzar velocidades entre 700 e incluso 1000°/seg., dependiendo del tamaño del sacádico (Carpenter, 1988). Se relacionan con la interacción entre visión central y visión periférica. La mayor parte de desplazamientos que debe analizar un observador requieren de movimientos sacádicos eficaces que permitan percibir las partes de la acción.

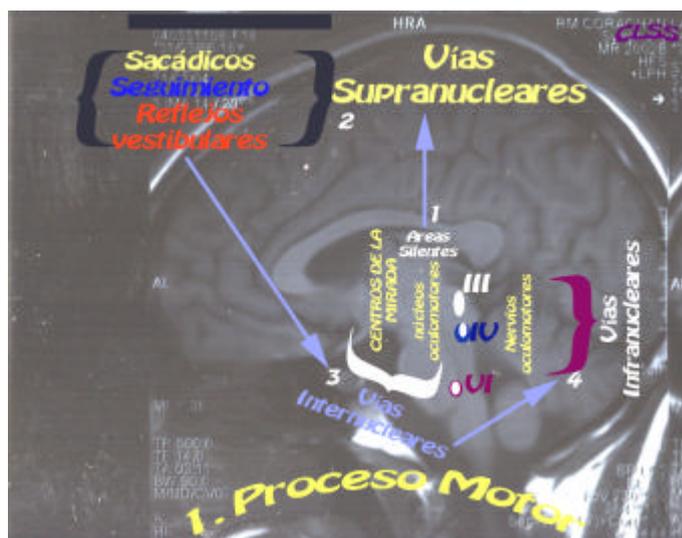


Imagen 3.2.1. Vías neuromotoras responsables de los movimientos oculares. (Cortesía de Carlos Saona).

- Las fijaciones se limitan al micronistagmus que mueve la imagen a través de los fotorreceptores retinianos (Kluka, 1990). Existen diversos estudios que constatan que a mayor experiencia en una actividad, como puede ser cualquier disciplina deportiva, menor es el número y el tiempo de las fijaciones utilizadas para explorar el entorno y las acciones relacionadas con esa actividad (Bard y Fleury, 1976).

En general, la conclusión a la que se ha llegado es que los sujetos más hábiles (como por ejemplo, los mejores deportistas) suelen tener movimientos oculares más eficaces (Kluka 1990).

3.2.2. ACOMODACIÓN: FLEXIBILIDAD ACOMODATIVA

Capacidad que permite enfocar y ver nítidamente a distintas distancias. Hace referencia no solo a la cantidad, sino a la calidad con que el sistema acomodativo puede activarse y relajarse.

El sistema acomodativo está unido al sistema de vergencias, y ambos deben funcionar sin interferencias.

Esta habilidad es muy importante en actividades donde la información visual, situada a varias distancias, debe ser procesada rápidamente, y resulta especialmente crítica cuando debe mantenerse un alto nivel de actuación en periodos prolongados de tiempo.

3.2.3. FUSIÓN: FLEXIBILIDAD DE FUSION

Es la habilidad que permite coordinar ambos ojos de forma rápida y eficaz para mantener la visión simple y nítida en todas las posiciones de mirada.

Se fundamenta en una óptima visión binocular y hace especialmente referencia a la calidad.

Deficiencias en esta habilidad pueden ser causantes de que el sujeto experimente diplopía, y cometa errores al calcular distancias y en la localización espacial.

3.2.4. PERCEPCIÓN DE LA PROFUNDIDAD

Habilidad que, apoyada en una óptima visión binocular, y dado que se basa en la visión del relieve, permite el cálculo rápido y acertado de las distancias y relaciones espaciales de los objetos.

En una revisión realizada por Stine, Arterburn y Stern (1982) se concluye que los deportistas tienen mejor percepción de las distancias que los no deportistas.

3.2.5. VISION PERIFERICA

En el contexto de la optometría deportiva, la visión periférica, suele definirse como la “Habilidad de localizar, reconocer y responder a la información en las distintas áreas del campo visual alrededor del objeto sobre el cual se fija la mirada” (Loran y MacEwen, 1995).

La visión central proporciona la máxima agudeza visual y una mayor sensibilidad cromática. Esto disminuye rápidamente del centro a la periferia, sobre todo nasalmente. Hacia los 30° de excentricidad, la agudeza visual estática se sitúa alrededor de 0.1, y es de aproximadamente 0.05 a los 60° (Bennet y Rabbets, 1992).

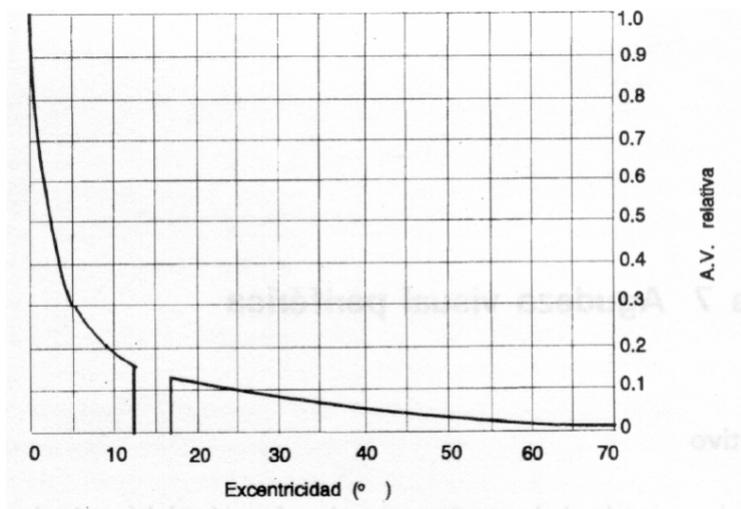


Figura 3.1. Representación de la agudeza visual estática en función de la excentricidad. (Extraída de Tapias, Pujol, Torrents y Alvarez, 1993).

Sin embargo, la retina periférica, es especialmente sensible a los desplazamientos, siendo su función más característica, la detección del movimiento.

Los límites del campo de visión varían para cada persona, pero como término medio puede considerarse que para la visión monocular abarcan de 90° a 100° en el meridiano temporal (binocularmente sería de unos 120°), 60° en los meridianos nasal y superior, y 75° en el meridiano inferior (Artigas, Capilla, Felipe y Pujol, 1995). Sin embargo, disminuye rápidamente, de forma proporcional al aumento de la velocidad de desplazamiento del individuo. Según informan Seiderman y Marcus (1989), a 33 Km/hora, el campo visual horizontal se reduce a unos 100°. En el caso de la conducción, se conoce como “efecto túnel” a la disminución de campo visual al aumentar la velocidad de desplazamiento del vehículo que puede quedar en un escaso ángulo de 30° cuando se circula a una velocidad de entre 130 y 150 Km/h (Burke, 1952).

A pesar de que la visión periférica se considera imprescindible en la mayor parte de disciplinas deportivas, aún es más importante gozar de una óptima “simultaneidad centro-periferia”, que permita a los deportistas abarcar la información visual del objeto en el que fijan la mirada y en lo que sucede alrededor, sin tener que realizar ningún movimiento ocular, y mucho menos de la cabeza.

Según investigadores como De Teresa (1992), la visión periférica es superior en deportistas que practican deportes donde esta habilidad es crucial (p.e. de equipo) que en la población sedentaria.

3.2.6. AGUDEZA VISUAL ESTÁTICA

Adaptando la definición de Artigas et al (1995) podríamos decir que la agudeza visual estática constituye una medida para detectar, reconocer o resolver detalles espaciales en un test estático, de alto contraste y con un buen nivel de iluminación, cuando el sujeto evaluado también se encuentra en condiciones de reposo.

Al valorar esta habilidad visual se pueden considerar cuatro umbrales básicos:

1. Umbral mínimo detectable: capacidad de percibir el objeto más pequeño en el campo visual.
2. Umbral mínimo resolutorio o poder resolutorio del ojo: capacidad de percibir como separados, dos objetos muy próximos.
3. Umbral mínimo perceptible de alineación: referido a la capacidad de detectar la alineación entre dos segmentos discontinuos, cuyos extremos se hallan muy próximos entre sí.
4. Umbral mínimo reconocible: capacidad para identificar adecuadamente la forma o la orientación de un objeto (como p.e. la abertura de un anillo), identificándose este umbral con lo que corrientemente se denomina agudeza visual (Aguilar y Mateos, 1994).

La agudeza visual se cuantifica mediante el valor del inverso del ángulo visual, expresado en minutos, que subtende el mínimo detalle del test que se debe reconocer.

Si llamamos s al tamaño del mínimo detalle del test y lo observamos a una distancia d (figura 3.2.), la agudeza visual vendrá dada por:

$$AV = \frac{1}{u'}$$

$$\operatorname{tg} u = \frac{s}{d}$$

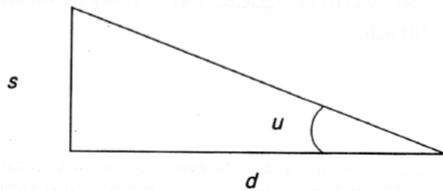
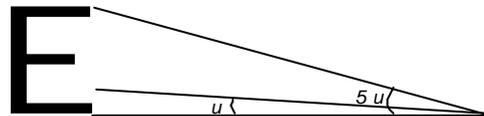


Figura 3.2. Esquema interpretativo del cálculo de la agudeza visual. (Extraída de Tapias et al., 1993)

La agudeza visual normal o estándar se considera la unidad (Helmholtz 1850, citado por Le Grand 1991), lo que significa que el mínimo detalle del test subtende un ángulo de 1'. En términos más coloquiales, este concepto implica poder leer nítidamente la letra de la figura 3.3., de 7.25 mm a una distancia de 5 metros.



$$AV = 1/u' \quad \operatorname{tg} u = s/d \quad \operatorname{tg} u = 1.45\text{mm}/5000\text{mm} \quad u = \operatorname{arctg} 0.00029 \quad u = 0.0166 \quad u' @ 1$$

Figura 3.3. Esquema interpretativo del cálculo de la agudeza visual. (Extraída de Tapias et al., 1993).

La agudeza visual se ve limitada por fenómenos como la difracción, aberraciones y la densidad de fotorreceptores retinianos (Atchinson, Smith y Efron, 1979). Al margen de ello, hay diversos factores que afectan a la

Agudeza visual estática (AVE en adelante). Algunos dependen del ambiente, y otros del sujeto. Entre los primeros, algunos de los más importantes son el contraste y la iluminación. En la figura 3.4. se representa el comportamiento de la AV en función del contraste entre el estímulo y el fondo. Se aprecia como se produce un aumento importante a medida que el contraste se acerca a la unidad, alcanzándose un límite asintótico cuando este se hace máximo. A partir de un determinado valor, cambios moderados en el contraste producen un efecto insignificante en la agudeza visual. Lógicamente, si el contraste entre figura y fondo es bajo, el objeto debe ser mayor para poder ser discriminado (Chevaleraud, 1986).

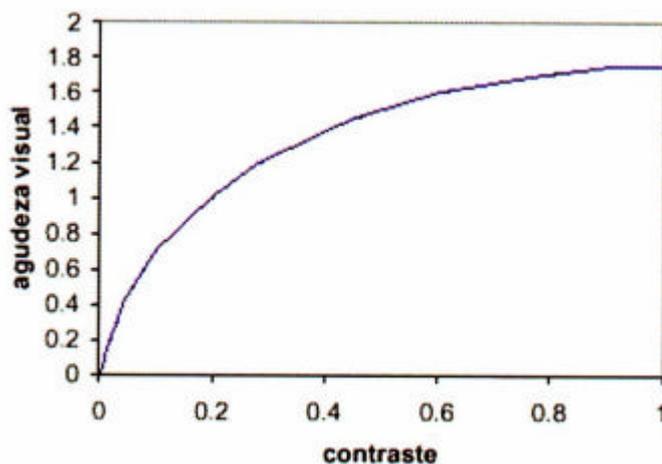


Figura 3.4. Variación de la agudeza visual con referencia al contraste (Extraída de Arranz, 2002).

Con respecto a la influencia de la iluminación, en los niveles escotópico y mesópico, la AV aumenta con la luminancia, alcanzando un valor asintótico a partir de las 100 cd/m². En la figura 3.5, se observa una gráfica que relaciona el valor de la agudeza visual con respecto a la iluminación del test representada a escala logarítmica. En ella se distinguen tres zonas claramente diferenciadas. La primera, correspondiente a valores menores a 0.04 cd/m², donde la AV se mantiene prácticamente constante y muy baja. En la segunda, la AV mejora progresivamente. Finalmente, en la tercera zona, correspondiente a niveles de iluminación superiores a 100 cd/m², la AV alcanza su valor máximo, manteniéndose prácticamente constante.

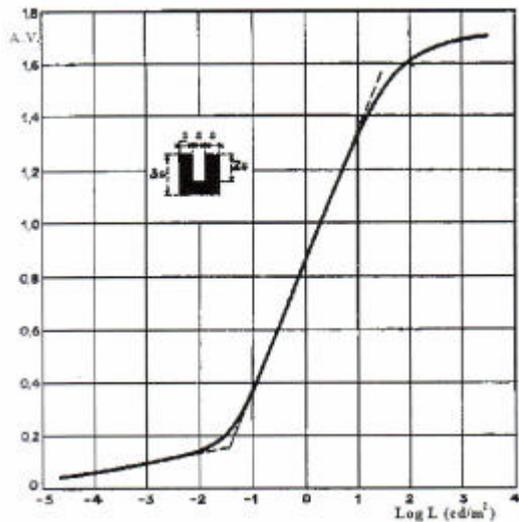


Figura 3.5. Representación de la AV en función del Log L, con L en cd/m^2 . (Extraída de Aguilar y Mateos, 1994).

En el ámbito clínico, la medida de la agudeza visual suele hacerse con optotipos de máximo contraste entre figura y fondo, y a una iluminación ambiental recomendada de aproximadamente 200 lux (Saona, 1987).

Por último, destacar que aunque en un número reducido, existen autores que afirman que la agudeza visual estática suele ser superior en deportistas que en sedentarios (Solé, Quevedo y Massafret et al, 1999; Sillero y Sampedro, 2002). También hemos encontrado apoyo científico a la posibilidad de mejora de esta habilidad a través del entrenamiento visual (Quevedo y Solé, 1995; McKee y Westheimer, 1978; Lasky y Lasky, 1990).

A continuación pasamos a resumir brevemente las características del test y protocolo utilizado para valorar la agudeza visual estática a los participantes en esta tesis.

ANILLO-DISCO UNIVERSAL DE PALOMAR

De entre los diversos optotipos utilizados para la determinación clínica de la agudeza visual estática hemos escogido, el Optotipo Universal Anillo-disco Palomar que es visto bajo el mismo ángulo en todos los diámetros, y entre cuyos trazos existe siempre la misma separación (Palomar, 1991), lo cual permite una medición exacta de la AVE (Figura 3.6). Con la carta de los Optotipos Palomar, podemos medir la AV desde una décima hasta dos enteros, de forma continua, con décimas y centésimas, no limitada por bs clásicos escalamientos tan generalizados en los gabinetes optométricos y oftalmológicos. (Imagen 3.2.2.).

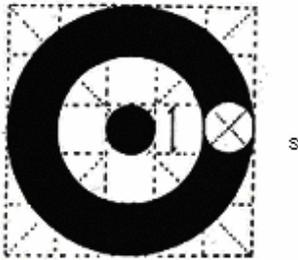


Figura 3.6. Anillo-disco universal de Palomar para medir la agudeza visual. (Palomar, 1991).

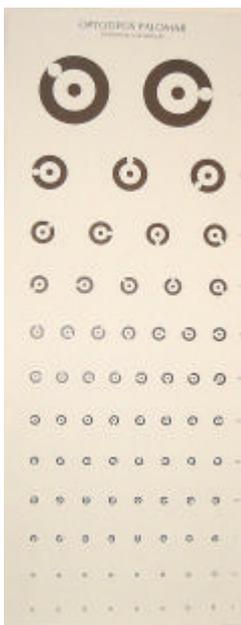


Imagen 3.2.2. Carta de Optotipos Palomar

Para medir la agudeza visual, y colocado el observador a 5 metros, se explora (monocular y/o binocularmente) hasta qué línea es capaz de distinguir en todos sus elementos la situación respectiva del punto blanco que, como hemos dicho, corresponde al *mínimum visible*. Anotamos el valor de agudeza visual y pedimos al sujeto que se vaya aproximando en pasos de 0.5 metros, a la vez que se le pregunta si ve todos los optotipos de la línea siguiente. La agudeza visual en centésimas es siempre el doble de la distancia en metros. Así, por ejemplo, si el sujeto evaluado ve a 5 metros hasta la línea correspondiente a agudeza visual 0.9, y para distinguir la línea de la unidad debe acercarse hasta 3.5 metros, dado que la agudeza centesimal es el doble de la distancia (es decir 7), la puntuación de esa persona será de 0.97.

Por último, adjuntamos un cuadro donde puede observarse el tamaño que debe tener cada elemento del Anillo-disco, así como el ángulo que subtiende, todo ello para una distancia de 5 metros (Tabla 3.1.).

Agudeza visual	Diámetro del anillo (mm)	Diámetro del disco blanco (mm)	Ángulo visual del optotipo	Ángulo visual del disco
0,1	72,50	14,50	50	10
0,2	36,25	7,25	25	5
0,3	24,16	4,83	16,66	3,33
0,4	18,12	3,62	12,50	2,50
0,5	14,50	2,90	10	2
0,6	12,08	2,41	8,33	1,66
0,7	10,35	2,07	7,14	1,42
0,8	9,06	1,81	6,25	1,25
0,9	8,05	1,61	5,55	1,11
1	7,25	1,45	5	1
1,50	4,83	0,96	3,33	0,66
2	3,62	0,72	2,50	0,50

Tabla 3.1. Tamaño de los elementos del Anillo-Disco Palomar (Palomar 1991).

3.2.7. SENSIBILIDAD AL CONTRASTE (FSC)

El significado de la sensibilidad al contraste se refiere a la capacidad para detectar pequeñas diferencias entre intensidades de gris (Ginsburg, Evans y Cannon, 1983), determinando el contraste umbral necesario para la identificación de un objeto (Koch, 1989). En la práctica, se traduce en ver un amplio rango de objetos bajo condiciones normales y visualmente degradadas.

Tras más de treinta años de experiencia, en optometría y oftalmología se va imponiendo la idea de que, para conocer la calidad de visión no basta con utilizar los optotipos de máximo contraste, sino que es conveniente conocer también su respuesta a los contrastes medios y débiles, dado que, en un porcentaje muy elevado, el conocimiento visual de nuestro entorno, se debe a visión de contrastes de mayor ó menor grado, ya sea de luminancias ó cromáticos (Aguilar et al, 1994).

Para definir el *contraste* (C) se suele recurrir a la Ecuación de Michelson (1927), (citado por Aznar-Casanova, 1999).

$$C = [L(\text{máx.}) - L(\text{mín.})] / [L(\text{máx.}) + L(\text{mín.})]$$

Donde L(máx.) y L(mín.) son las luminancias máxima y mínima del estímulo a considerar. De este modo, el contraste puede variar desde un mínimo de cero (no contraste) hasta uno (máximo contraste entre el estímulo y el fondo).

El *contraste umbral* es el mínimo nivel de contraste que permite la discriminación de un objeto.

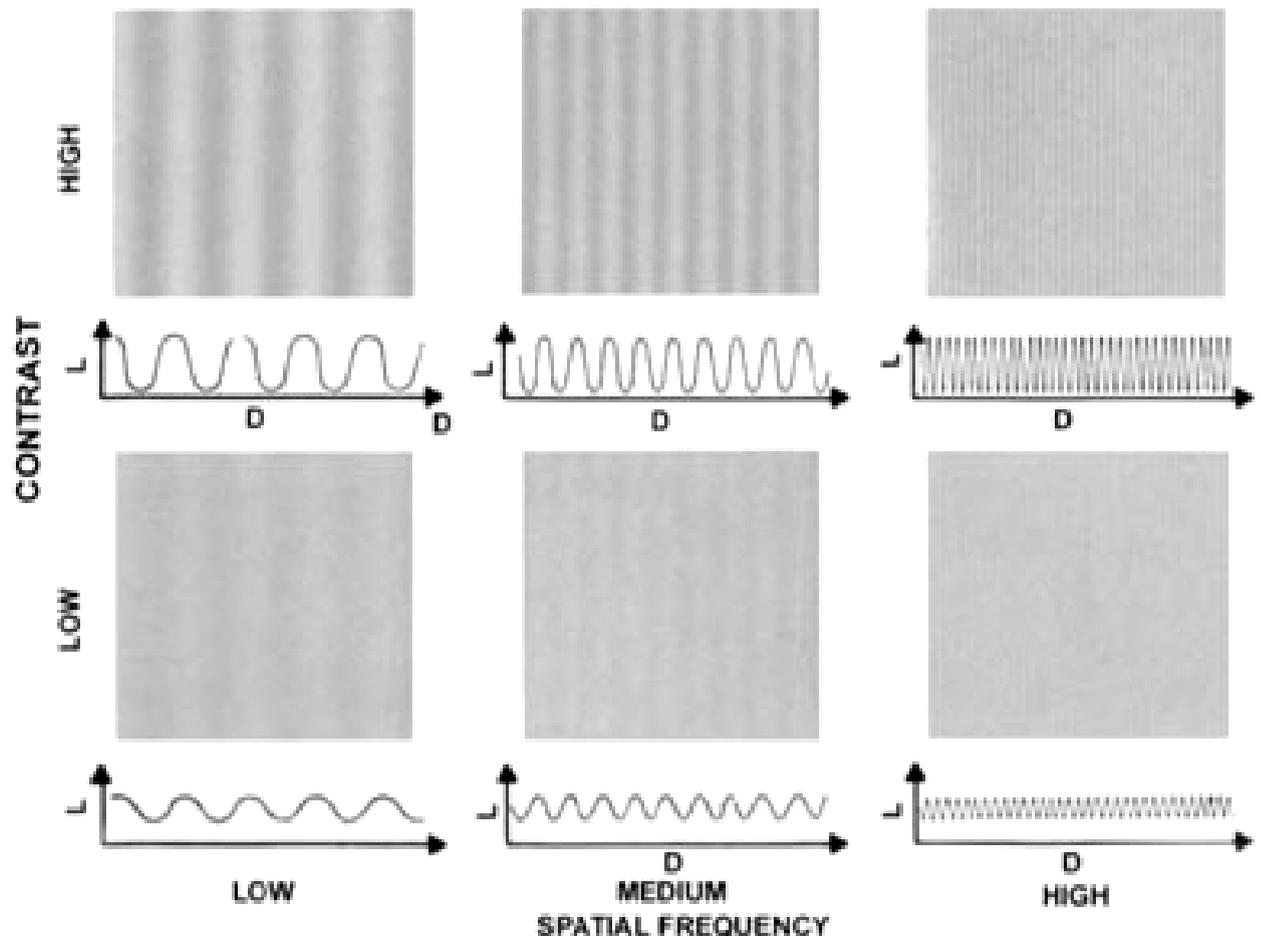
La *sensibilidad al contraste* es el inverso del contraste umbral porcentual. Así, un umbral de contraste del 1% conlleva una sensibilidad al contraste de 100, y un contraste umbral del 0.8% implica una sensibilidad al contraste de 125. (Miller, 1994).

El espectro de sensibilidad al contraste recibe el nombre de *función de sensibilidad al contraste* (FSC) y su representación gráfica *curva de sensibilidad al contraste*, mediante la cual se evalúa el contraste umbral (eje de ordenadas) para cada frecuencia espacial (eje de abscisas) de ciclos luz/oscuridad subtendidos en un grado de ángulo visual (Koch, 1989). De este modo, una FSC normal aparece representada por una curva con forma de "U" invertida donde el área que queda por encima de la curva es la región que muestra el bajo contraste en función de la frecuencia, en que el ojo es incapaz de identificar el objeto. El área bajo la curva recoge los diferentes niveles de contraste en función de la frecuencia espacial en los que el ojo llega a discriminar el objeto. La intersección de la curva con el eje de abscisas supone una estimación bastante aproximada de la agudeza visual (Ginsburg, 1987).

La sensibilidad al contraste se examina midiendo la capacidad del sistema visual para detectar objetos que varían en tamaño y contraste. Suele realizarse mediante optotipos formados por franjas sinusoidales (número repetido de barras oscuras y claras alternadas o ciclos, cuya luminancia sigue una distribución de onda sinusoidal perpendicular a la dirección de las barras) especificadas en términos de su orientación, contraste y frecuencia espacial, para determinar el alcance visual del detalle espacial (Prager, 1990). El número de ciclos de una franja para un ángulo visual específico determina su frecuencia espacial.

Un número reducido de ciclos en un determinado ángulo visual se define como baja frecuencia espacial, mientras que un número elevado de ciclos para el mismo ángulo se define como alta frecuencia espacial. El contraste es la diferencia entre el brillo y la oscuridad de la franja.

La representación gráfica de la *función de sensibilidad al contraste*, esto es, la *curva de sensibilidad al contraste* se realiza recogiendo los *contrastes umbrales* del sujeto para cada frecuencia espacial, basándonos en los criterios de *mínimo resolutivo o separable* y *mínimo cognoscible*.



© 2002 Vision Sciences Research Corporation. All rights Reserved.

Figura 3.7. Ejemplo de franjas sinusoidales con distintas frecuencias espaciales y niveles de contraste.

Como hemos dicho antes, y considerada la agudeza visual el caso límite de la visión de contrastes (contraste máximo), ésta debería analizarse como un aspecto particular de visión de contrastes y estudiarla en segundo lugar, tras la visión de grises (Aguilar et al, 1994), puesto que la FSC predice mucho mejor que el test de AVE la efectividad del sistema visual en condiciones de bajo contraste como la niebla o la lluvia, nocturnas o de deslumbramiento. Dado que la FSC constituye una evaluación sensible de la función visual de un paciente en el mundo real, se encuentra por tanto, más íntimamente relacionada con el deporte que la AVE.

La FSC disminuye con la edad y parece ser que el declive más importante tiene lugar entre los 50 y 60 años de edad (Burton, Owsley y Sloan, 1993).

A pesar de los muchos estudios realizados sobre la FSC, aún existe polémica con referencia a diversas cuestiones de interés. Así, mientras que algunos investigadores sostienen que cuanto mejor es la FSC, mejor suele ser la agudeza visual dinámica (Knudson y Kluka, 1997), otros autores afirman que no existe correlación alguna entre ambas habilidades (Long y May, 1992).

Con referencia a la influencia del ejercicio físico, algunos estudios apuntan a que la FSC mejora tras el ejercicio, especialmente en las frecuencias extremas (más altas y más bajas). Este hecho se explica por el aumento de actividad del sistema nervioso central, que depende de factores como el riego sanguíneo y el consumo de oxígeno (Joseph, Saha y Selvamurthy, 1997). Otros investigadores, sin embargo, niegan que la realización de esfuerzo físico potencie la sensibilidad a los contrastes (Woods, Wood y Jack, 1997).

Diversos trabajos (Hoffman, Polan y Powell, 1984; Reichow y Coffey, 1986) apoyan que los deportistas tienen mejor FSC que los no deportistas. Por añadidura, Kluka, Love, Sanet et al. (1995), afirman que también existen diferencias en cuanto al rendimiento. Es decir, dentro de un mismo deporte, encontraron que los sujetos de mayor nivel gozan de mejor FSC.

Acto seguido pasamos a describir el aparato utilizado en esta tesis para la determinación de la función de sensibilidad al contraste de los participantes.

CSV 1000 (VECTOR VISIÓN)

El CSV 1000 está formado por una pantalla traslúcida que es iluminada desde su parte posterior por una serie de células fotoeléctricas que monitorizan el nivel de luminancia, manteniendo la intensidad de la luz fluorescente en 85 cd/m².

La pantalla presenta cuatro filas, definidas, cada una, por la frecuencia espacial con la que trabajan. En cada fila observamos, de izquierda a derecha, un círculo en el margen izquierdo que contiene una rejilla ó red sinusoidal "muestra" de la frecuencia en cuestión, y, a continuación ocho parejas de

círculos. De cada pareja, sólo un de los círculos presentará en su área la rejilla con contrastes que van decreciendo según avanzamos hacia la derecha en la línea, y que el observador debe determinar.



Imagen 3.2.3 CSV 1000 (Vector Vision).

Por medio de un mando a distancia de rayos infrarrojos se selecciona la iluminación de cada una de las filas.

Los contrastes varían en función de las frecuencias empleadas, que son:

Frecuencia	1	2	3	4	5	6	7	8
A : 3 cpg	10	15	22	31	43	61	85	120
B : 6 cpg	16	24	36	50	70	99	138	193
C : 12 cpg	8	12	18	25	35	50	70	99
D : 18 cpg	3	4,5	7	9,5	13	18	25	36

Tabla 3.2. Niveles de Sensibilidad al Contraste, para cada uno de los círculos, en CSV 1000.

Tras esta breve descripción de las habilidades visuales, en el siguiente apartado profundizaremos en la agudeza visual dinámica, dado que constituye el centro de interés de este trabajo.

3.3. Agudeza Visual Dinámica

3.3.1. Concepto, Relaciones e Implicaciones

El término agudeza visual dinámica (AVD) fue acuñado en 1949 por Ludvigh y Miller para describir la habilidad de discriminar detalles de un objeto cuando existe movimiento relativo al sujeto. Durante la siguiente década, Ludvigh y Miller estudiaron las bases fisiológicas de la AVD y la posibilidad de entrenar esta habilidad en cadetes de la aviación de los Estados Unidos de América (Cash, 1996).

Las revisiones bibliográficas realizadas desde entonces (Miller y Ludvigh, 1963; Hoffman, Rouse y Ryan, 1981; Banks, Moore, Liu y Wu, 2004; Quevedo y Aznar-Casanova, 2005) evidencian que la AVD es un tema que ha despertado un interés moderado entre los científicos en las pasadas décadas. La mayor parte de los autores coinciden en señalar que esto puede deberse a la falta de un instrumento de fácil utilización clínica para medir esta habilidad visual. En consecuencia, esta escasez de trabajos publicados conlleva un conocimiento limitado de la AVD y sus aplicaciones.

Con la honrosa excepción del profesor Gerald Long (Long et al 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1996, 1998, 2002) de la Universidad de Villanova (Pennsylvania), los trabajos más relevantes fueron desarrollados entre los años 50 y 70. La mayoría de estos estudios se centraron principalmente en determinar las influencias que sobre la AVD presentaban características del estímulo móvil como el tamaño, el contraste, la velocidad angular de desplazamiento y el tiempo de exposición.

El movimiento del estímulo, si bien contribuye a la detección del objeto, generalmente dificulta la discriminación precisa de sus detalles. En consecuencia, **la agudeza visual dinámica de un sujeto se ve reducida al aumentar la velocidad de desplazamiento del estímulo** (Miller, 1958; Miller y Ludvigh, 1963; Morrison, 1980; Prestrude, 1987). En 1958, Ludvigh y Miller propusieron un modelo matemático para describir el aumento de los umbrales

de agudeza visual dinámica al aumentar la velocidad de desplazamiento del estímulo. La fórmula que describe esta relación se define como:

$$y = a + bx^3$$

En esta ecuación semiempírica, **y** equivale a la agudeza visual en minutos de arco, **x** corresponde a la velocidad angular del objeto en grados/segundo y **a** y **b** son parámetros que fueron determinados por ajuste de la curva utilizando el método de los momentos. Si bien los autores reconocen que la ecuación no constituye ninguna ley universal defienden que describe de forma satisfactoria los datos obtenidos y por añadidura ofrece un medio eficaz para comparar las habilidades de distintos individuos para identificar detalles de objetos en movimiento (Ludvigh y Miller, 1958). Cuando la velocidad de desplazamiento es insignificante, **y** (agudeza visual dinámica) se asemeja mucho a **a**, la cual constituye el valor determinado de agudeza visual estática en minutos de arco y es pequeño si la agudeza visual es buena (**y@a**). A velocidades altas, sin embargo, el valor de la ecuación viene determinado principalmente por el término **bx³** y **b**, una medida de agudeza dinámica tiene un valor pequeño cuando la agudeza visual no se deteriora rápidamente con la velocidad. Así, con esta fórmula se obtiene una función que evidencia un mínimo impacto a velocidades hasta 30-40°/seg., y un notable deterioro de la AVD rebasados estos límites. Los distintos investigadores, sin embargo, reflejando las diferencias de los métodos y condiciones experimentales utilizadas, difieren sensiblemente con respecto a la velocidad a la cual la agudeza visual dinámica empieza a verse notablemente perjudicada. Weissman y Freeburne (1965) establecen los 120°/seg., Brown (1972a) sugirió los 25-30°/seg., Reading (1972) apunta los 60-70°/seg., mientras que Prestrude (1987) señala los 50°/seg. como velocidad límite. Esta disminución de la agudeza visual ha sido constatada tanto para estímulos que se desplazan horizontal como verticalmente (Miller, 1958).

Con referencia al **tiempo de exposición**, también es comúnmente aceptado que **la agudeza visual dinámica disminuye con éste** (Elkin, 1962, Miller, 1959). A este respecto, Ferguenson y Suzansky (1973), a partir de sus

investigaciones, llegaron a la conclusión de que los efectos del tiempo de exposición tenían incluso mayor influencia en la agudeza visual dinámica que los cambios en la velocidad del móvil. Adrian (2003) propone una fórmula para compensar la disminución de la AVD causada por un menor tiempo de exposición, mediante el aumento del contraste del estímulo, o de ser este máximo, para incrementar el tamaño de las letra, concluyendo que todos los factores están fuertemente relacionados.

Como sucede con la agudeza visual estática, la AVD **mejora al aumentar la luminancia** pero se ve más rápidamente afectada cuando ésta disminuye (Miller, 1958). La AVD también se ve potenciada por el **contraste entre el estímulo y el fondo** sobre el que se desplaza (Brown, 1972b; Long y Garvey, 1988; Mayyasi, Beals, Templeton y Hale, 1971; Aznar-Casanova, Quevedo y Sinnet, 2005). Miller (1958) demostró las ventajas de aumentar la iluminación de forma paralela a la velocidad de desplazamiento, estableciendo que mientras que 5-10 candelas/pie (54 a 107 lux) eran suficientes para discriminar un objeto estático, se necesitaban hasta 125 candelas/pie (1337.5 lux) para ese mismo objeto en movimiento. Estudios como el de Long y Homolka (1992) y Long y Zavod (2002) han combinado estos factores, concluyendo que esos factores están directamente relacionados con los canales especializados en la percepción del movimiento.

La correlación entre la agudeza visual dinámica y estática suele ser baja. De hecho, es usual encontrar diferencias individuales importantes en agudeza visual dinámica en sujetos con similar agudeza visual estática (Fergenson y Suzansky, 1973; Long y Penn, 1987; Ludvigh y Miller, 1958 y Ludvigh y Miller, 1954, citado por el *Committee on Vision* del NRC, 1985). A este respecto, Sanderson (1981) habla de susceptibilidad individual a la velocidad, sugiriendo que mientras algunas personas podrían calificarse como “resistentes” a la velocidad, otros deberían clasificarse como “sensibles” dado que mostrarían un rápido deterioro de la AVD al incrementar la velocidad de desplazamiento del estímulo. **La correlación entre agudeza visual dinámica y estática aumenta de forma inversamente proporcional a la velocidad del estímulo.** Así, según los autores anteriormente citados como Fergenson y Suzansky (1973) o

Long y Penn (1987), a una velocidad de 20°/seg. la correlación es considerablemente alta, y sin embargo, a 100°/seg. se considera prácticamente nula. Concretamente, Hulbert, Burg, Knoll y Mathewson (1958) determinaron que la caída más espectacular en la correlación entre agudeza visual dinámica y estática ocurría a partir de los 60°/seg. Una explicación a este fenómeno puede encontrarse en el hecho de que la AVE está principalmente relacionada con el poder de resolución ocular, mientras que la AVD se halla, además, muy ligada a la capacidad del sistema oculomotor para mantener la imagen de interés focalizada lo más cercana posible a la fóvea. Así, la agudeza visual dinámica disminuiría con respecto a la estática porque a altas velocidades del estímulo, los ojos no pueden seguir un objeto adecuadamente. De nuevo, recordemos que según Gresty y Leech (1977), la velocidad máxima a la cual un objeto móvil puede ser adecuadamente seguido por los ojos, es de aproximadamente 30°/seg. A velocidades superiores, los movimientos oculares de seguimiento se mezclan con los movimientos sacádicos en un intento de corregir los errores de posición de la imagen retiniana, lo que resulta en una pérdida de agudeza visual.

Estrechamente relacionadas con estos resultados, están las conclusiones presentadas por Sanderson y Whiting (1978), que afirman que a una velocidad angular constante, la correlación entre AVE y AVD aumentará en función del tiempo de exposición. Así, establecen que 300ms podrían constituir el límite máximo, rebasado el cual ya no hablaríamos de medidas esencialmente dinámicas, dado que se estaría dando mayor facilidad a los movimientos oculares sacádicos correctivos, y en consecuencia, la influencia del control oculomotor requerido en las tareas de percepción de la forma en movimiento, se vería sensiblemente reducido.

Complementariamente, un reciente estudio de Nakatsuka, Ueda, Nawa et al (2006) demuestra que la agudeza visual estática contribuye en gran medida a la agudeza visual dinámica, ya que una agudeza visual estática insuficiente conlleva una imagen borrosa, que impide que la agudeza visual dinámica llegue a ser óptima.

También parece totalmente aceptado, (aunque no se haya conseguido explicar plenamente las razones) que **los hombres gozan de mejor agudeza visual dinámica que las mujeres** (Burg y Hulbert, 1961; Ishigaki y Miyao, 1994). En este sentido, Ishigaki y Miyao (1994) apuntaron que dado que no existen diferencias ligadas al sexo en AVE y FSC, la superioridad masculina en AVD podría deberse a factores educativos y comportamentales más que innatos.

Por su parte, Cratty, Apitzsch y Bergel (1973), en un estudio realizado con 475 niños de diversas razas y edades comprendidas entre 5 y 12 años concluyeron que **no existían diferencias raciales con respecto a la AVD**, aunque los sujetos de ojos claros presentaban mayor AVD y los amétropes con corrección gozaban de menor AVD que los emétropes.

Desde un punto de vista evolutivo, se ha constatado que **la AVD es una de las habilidades que más disminuyen con la edad**, de forma más acentuada que la AVE, y además su deterioro se inicia antes (Scialfa, Garvey, Gish et al, 1988). Ishigaki y Miyao (1994) demostraron que la AVD se desarrolla rápidamente entre los 5 y los 15 años, y que comienza a disminuir a partir de los 20. Burg (1966) evidenció que comparado con los resultados medios obtenidos para un grupo de población de 20 años de edad, la AVD era aproximadamente un 60% inferior en la década de los setenta años. Según Long y Crambert (1990) la pérdida de sensibilidad retiniana típica de esta población es en gran parte la responsable de la disminución de AVD entre los mayores. Sin embargo, otros autores apuntan al deterioro fisiológico de los movimientos oculares de seguimiento y sacádicos, no sólo en velocidad y eficacia, sino también en latencia, como causa más importante (Eby, Trombley, Molnar et al, 1998).

En la mayor parte de las disciplinas deportivas de pelota, tanto ésta como los jugadores se mueven de forma más o menos continua. Por ello, aunque sea puramente a nivel intuitivo, parece obvio que una buena AVD será esencial para un óptimo rendimiento. Sanderson y Whiting (1974, 1978) constataron que la eficacia al atrapar el balón correlaciona de forma significativa con la AVD.

Esto resulta importante porque en la mayoría de las disciplinas colectivas el jugador necesita interceptar, parar o golpear el balón.

En esta línea, numerosos trabajos científicos aportan datos sobre la **superior AVD de los deportistas con respecto a la población sedentaria**: En general (Ishigaki y Miyao, 1993), en el baloncesto (Beals, Mayyasi, Templeton y Jonson, 1971), béisbol (Rouse, De Land, Christian y Hawley, 1988; Solomon, Zinn y Vacrou, 1988), softball (Millsagle, 2000), voleibol (Melcher y Lund, 1992) y tenis (Cash, 1996; Tidow, Brückner y de Marées, 1987). Además, también se han encontrado diferencias al comparar la AVD de deportistas de disciplinas de contexto dinámico como pueden ser el baloncesto o el tenis, con la de otros de modalidades menos “visuales” como la natación, con una notable superioridad para los primeros (Tidow, Wühst y de Marées, 1984).

En el ámbito de la seguridad viaria y conducción de vehículos, la AVD también se considera sensiblemente ligada al rendimiento en actividades más o menos cotidianas como son la lectura de señales indicadoras en las carreteras (Hulbert, Burg, Knoll, y Mathewson, 1958; Long y Kearns, 1996), pilotaje de coches (Burg 1967, 1968, citados por el Comité on Vision del NRC, 1985) y aviones (Kohl, Coffey, Reichow, Thompson y Willer, 1991). Además, Henderson y Burg (1973) (citados por el Comité on Vision del NRC, 1985) también constataron una alta correlación negativa entre los siniestros de camiones y autobuses y la AVD de los conductores. Parece ser que, fruto de las diversas investigaciones realizadas donde se valoraba la relación entre diferentes habilidades visuales y la conducción eficaz, **la AVD se manifestó como la más predictiva del éxito en la conducción** (valorada en términos de siniestralidad en accidentes de tráfico) (Burg, 1968, citado por Comité on Vision of the National Research Council, 1985).

Algunos autores han investigado la influencia de la fatiga física en la AVD aportando datos dispares. Así, mientras Milagros Arteaga (Arteaga, Torre y Delgado, 2002) asegura que la fatiga provocada por el esfuerzo físico anaeróbico no tiene ningún efecto en la AVD o los movimientos oculares, Millsagle y colaboradores obtienen que la AVD mejora linealmente con el aumento de la carga física. Los autores especulan que posiblemente el

ejercicio progresivo estimule el sistema de activación reticular que potenciaría la mejora de la AVD (Millslagle, DeLaRosby y VonBank, 2005). Ante esto, recordemos que existen distintos tipos de fatiga en función de la vía energética que proporciona la energía requerida para el esfuerzo. Si éste es de larga duración, el sistema implicado es el aeróbico, en cambio, si el esfuerzo es corto la vía energética es la anaeróbica con sus diferentes respuestas fisiológicas. Igualmente, es necesario diferenciar ambos niveles de la simple activación del sistema nervioso autónomo o *arousal* que suele aparecer al inicio de la actividad física (Billat, 2002). Este hecho puede explicar la diferencia de resultados observados en los diferentes estudios que analizan esta relación y, tal y como concluye Sillero (2006), habría que definir los efectos en la AVD en función de las distintas intensidades del esfuerzo, nivel de condición física de la muestra, etc., relacionando, por ejemplo, el nivel de ácido láctico alcanzado durante un esfuerzo con la eficiencia en esta habilidad visual.

Tampoco se encuentra un consenso total en los resultados de las investigaciones sobre la influencia del consumo de determinadas drogas sobre la AVD. En lo que si parecen coincidir los diversos autores es en afirmar que **la ingesta de alcohol afecta a la AVD en mayor medida que el tabaco o la marihuana** (Brown, 1975; Long y Jones, 1993; Perrine, 1974). Según Schneck y Adams (1993) el alcohol deteriora más la AVD cuanto mayor es la velocidad de desplazamiento y menor el contraste del estímulo. Según estos autores, la razón es que el consumo de alcohol tiene un efecto muy drástico en los músculos extraoculares y en consecuencia sobre la coordinación de los movimientos oculares, tan importante en la AVD.

Por último, pero de especial importancia, destacar que otro grupo de trabajos (Ludvigh y Miller, 1958; Long y Riggs, 1991; Long y Rourke, 1989) constata la **posibilidad de mejorar la AVD mediante el entrenamiento sistemático** de esta habilidad, señalando además la necesidad de desarrollar instrumentos adecuados para tal fin.

3.3.2. Evaluación de la Agudeza Visual Dinámica

- NIVEL CLINICO

A pesar de que las primeras incursiones de la optometría dentro del mundo del deporte se remontan a los años 60 (Gregg, 1987), debe de reconocerse que dado que no existía ninguna tradición ni pauta concreta con respecto a la evaluación de las habilidades visuales en general y la agudeza visual dinámica en particular, los optometristas utilizaban un amplio abanico de aparatos y métodos de cuestionable validez teniendo en cuenta las demandas visuales específicas que deben afrontar los deportistas. Este y otros factores, como la dificultad de conseguir muchos de los instrumentos, constituyeron una importante limitación a la hora de compartir conocimientos y enriquecer esta área de aplicación optométrica.

Ante el desorden existente, y con el objetivo de ofrecer una batería de tests estandarizada para evaluar la funcionalidad del sistema visual en relación al rendimiento deportivo, Bradley Coffey y Alan Reichow (1990), profesores de Optometría de la Universidad del Pacífico (Oregón), diseñaron en 1985 la *Pacific Sports Visual Performance Profile (PSVPP)*. Esta batería de tests surge como respuesta a las demandas de la Sección de Visión Deportiva de la *American Optometric Association* que desde 1978 venia organizando exámenes visuales a los candidatos a participar en los Juegos Olímpicos como representantes de los Estados Unidos. Aunque estos servicios optométricos eran bien acogidos y se valoraban como muy útiles para determinar los posibles problemas visuales de los deportistas, existían diversos inconvenientes, el más grave de los cuales (ya mencionado en estas páginas) se resume en que la mayor parte de los tests no estaban estandarizados o cuidadosamente controlados y en consecuencia, ofrecían resultados de validez y fiabilidad cuestionable. El PSVPP fue desarrollado con el objeto de superar estas limitaciones, ofreciendo protocolos para evaluar 15 áreas de la función visual ligadas al rendimiento deportivo.

En estos protocolos se especificaba la habilidad visual valorada en cada test, la distancia y posición del sujeto, el nivel de iluminación adecuado, los factores que debían ser observados y controlados durante el test, así como las instrucciones y

el procedimiento de recogida de datos. Algunos de los protocolos se diseñaron a partir de procedimientos clínicos convencionales (p.e. la agudeza visual con el optotipo de Snellen o los rangos de vergencia fusional a 6 metros), otros se basan en medios y métodos desarrollados por diversos laboratorios fabricantes (p.e. FSC o tiempo de reacción visual), y otros provienen de instrumentos de evaluación contruidos en la propia facultad de Optometría de la Universidad del Pacífico (p.e. agudeza visual dinámica).

Entre los diversos medios y métodos que se especifican, se encuentra el denominado Rotador de Kirschner (1967), instrumento utilizado para medir la agudeza visual dinámica. En este test, el deportista debe identificar la orientación de una C de Landolt (correspondiente a una demanda de agudeza visual de 20/40) que describe círculos y que es proyectada en una pantalla a tres metros del sujeto evaluado. La apertura de la C de Landolt puede estar orientada hacia arriba, abajo, a la derecha y a la izquierda. El diámetro del círculo que describe el estímulo es de 55 cm y gira en dirección de las agujas del reloj. El estímulo comienza a moverse a una velocidad de 100 rpm y va disminuyendo gradualmente hasta que el sujeto pueda identificar correctamente la orientación del anillo de Landolt tres veces consecutivas.

Tras la descripción del aparato y protocolo de medición de la AVD, Coffey y Reichow (1990) apuntan la necesidad de seguir investigando en este área con el objeto de desarrollar instrumentos de medida más específicos para las necesidades visuales del deporte que, no únicamente permitan la valoración de la agudeza visual dinámica con un estímulo que describe trayectorias circulares, sino también laterales, verticales y oblicuas a través del campo visual. A pesar de las limitaciones que presenta el test de Kirschner, este rotador ha sido utilizado en los Centros Olímpicos de Visión que la empresa Bausch&Lomb ha ido situando en las diversas Villas Olímpicas desde su inauguración en los Juegos Olímpicos de 1992, que tuvieron lugar en Albertville y Barcelona (Berman, 1993).

Con características bastante similares al test de agudeza visual dinámica del *PSVPP*, los otros instrumentos más comúnmente aceptados y utilizados en el ámbito clínico, en el contexto de la optometría deportiva, son el Rotador

Motorizado *Pegboard* (JW Engineering, 24 Phyllis Dr, Pamaona, NY 10970) y el Disco Rotador de Bernell (422 E Monroe St, South Bend, IN 46601).

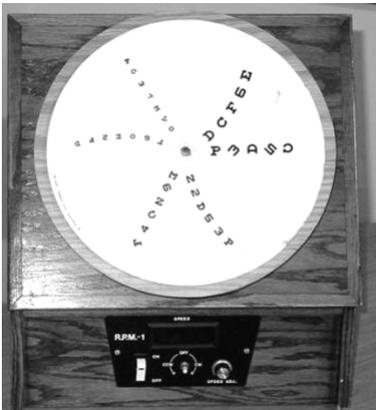


Imagen 3.3.1. Disco rotador de Bernell.

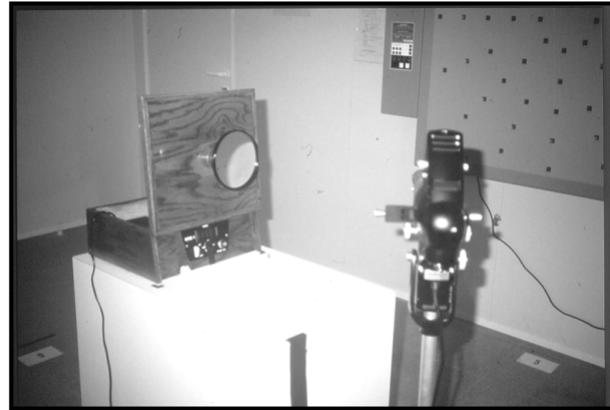


Imagen 3.3.2. Rotador de Kirschner.

Ambos están inspirados en la mecánica de los clásicos “tocadiscos” y utilizan optotipos con letras de distinto tamaño (correspondientes a agudeza visual de 20/30 y 20/60 el primero, y 20/20, 20/30 y 20/40 el último) que pueden girar a favor o en sentido contrario a las agujas del reloj. Para iniciar el examen, los instrumentos giran a 105 rpm y se informa al sujeto que lea todas las letras. Si no consigue leer las de menor tamaño se reduce la velocidad de 5 en 5 rpm. En cualquier caso, siempre se registran los valores de agudeza visual dinámica como una combinación de agudeza visual y velocidad en rpm (p.e 20/40 a 45 rpm). El hecho de que ambos utilicen letras de diferente grado de legibilidad constituye una posible fuente de error. Además, la rotación de las letras significa que la mayor parte del tiempo, estas no están derechas. Dado que la determinación de esa letra debe seguir, forzosamente, a una transformación mental de su orientación que permita su correcto reconocimiento, los rotadores descritos no pueden considerarse instrumentos adecuados para valorar la AVD.

Más recientemente Buys (2002) hace un considerable intento de presentar una batería de tests específicos para las necesidades visuales de los deportistas. A pesar de su remarcable labor a la hora de validar diversos instrumentos y protocolos, no consigue aportar ninguna mejora sustancial en el caso concreto de la medición de la agudeza visual dinámica.

En la práctica clínica diaria que desde 1994 desarrollamos en el Centro de Visión del CAR de Sant Cugat del Vallés, hemos utilizado el Rotador de Bernell, constatando sus deficiencias, especialmente en lo que se refiere a falta de especificidad para el contexto deportivo. Este fue el principal motivo que nos llevó a plantear la necesidad de diseñar un programa de ordenador para valorar una habilidad visual tan intrínsecamente ligada a la actividad deportiva como es la agudeza visual dinámica. Así, nos planteamos el objetivo de conseguir un test válido y fiable, que pudiera resultar específico para distintos deportes y que, además, fuera fácilmente utilizable por la gran mayoría de especialistas de la optometría deportiva, ya que únicamente requiere de un aparato tan cotidiano y de fácil manejo como es un ordenador, y un simple cable alargador de teclado para administrar el test a distancia.

- NIVEL EXPERIMENTAL

A pesar de las recomendaciones del Comité de Visión del *National Research Council* (1985), desafortunadamente, y como ya se ha apuntado en el apartado anterior donde se describieron los aparatos utilizados en la práctica clínica, los instrumentos desarrollados para investigar la AVD también parecen haber evolucionado muy poco desde los estudios pioneros de Ludvigh y Miller en 1954 (citados por el *Comitee on Vision* del NCR, 1985) que describen diversos tipos de rotadores de velocidad regulable, con letras de dos o tres tamaños distintos que el sujeto debe identificar mientras giran (Kirschner, 1967; Kohl et al 1991). Otros autores, ajenos a la labor clínica y movidos únicamente por inquietudes científicas, han diseñado diversos instrumentos, poco prácticos, y generalmente, de difícil manipulación, para investigar diversos aspectos relacionados con la agudeza visual dinámica (Geer y Robertson, 1993; Long y Johnson 1996; Sanderson y Whiting, 1978).

Mención especial merecen Long y Zavod (2002), que conscientes de la importancia de la valoración conjunta de la AVD y la FSC diseñan un test basado en el Pelli-Robson (Pelli, Robson y Wilkins, 1988, citado por Long y Zavod, 2002) pero con letras individuales que se desplazaban horizontalmente,

a distintas velocidades (entre 0 y 120°/segundo). Desafortunadamente, el “montaje” que conlleva sigue dificultando su aplicación clínica.

En los últimos años, sin embargo, el auge de la informática ha posibilitado el diseño de nuevos y prometedores sistemas de evaluación. Así, Jocely Cash (1996), diseñó para su tesis de grado y mediante un programa de animación para Macintosh, un instrumento que permite el movimiento horizontal de dos E de Snellen a diversas velocidades entre 20 y 80 grados por segundo. Por las características del test (dos letras E en distinta orientación que el sujeto debe determinar y decir en voz alta al examinador) no podemos evitar poner en duda su validez, y consideramos que sería más adecuado evitar la implicación del evaluador.

En Alemania, Figge y Wist (1996) diseñaron un programa informático para medir la agudeza visual en distintas condiciones de movimiento en función del contraste entre los píxels del estímulo (dinámicos y expuestos tan sólo 280 seg.), y los de la pantalla o fondo (estáticos). El optotipo utilizado fue un anillo o C de Landolt, con un pequeño punto de fijación central. Los sujetos evaluados debían indicar la localización correcta de la apertura, de cuatro posiciones posibles (arriba, abajo, derecha e izquierda).

Por su parte, Joseph Shevlin (1999) presentó en su tesis doctoral un programa informático para valorar la agudeza visual dinámica mediante la utilización, como estímulo, de la letra “C” de Landolt moviéndose en seis direcciones a través de la pantalla (horizontales y diagonales). La apertura del estímulo tenía cuatro posibles posiciones (arriba, abajo, derecha e izquierda) que el sujeto debía indicar mediante las flechas del teclado. La particularidad de este programa es que permite presentaciones del estímulo de origen conocido, y al azar, apareciendo éste en cualquier lugar de la pantalla.

En abril del 2005, Human Engineering (www.humaneng.net) desarrolló un estudio para investigar los cambios evolutivos de la AVD en los conductores de tren británicos. Conscientes de los problemas existentes en la medición de esta habilidad visual, decidieron desarrollar un programa informático donde,

buscando la máxima especificidad de la tarea, se simulaba el acercamiento de una C de Landolt presentada en contraste negativo y positivo, con cuatro posibles orientaciones de la apertura y a velocidades entre 30 y 105m/seg. La principal diferencia con anteriores iniciativas, reside en que, para dar la sensación de movimiento por el eje z, el optotipo va incrementando su tamaño de forma exponencial. Cuando el observador determina la orientación de la apertura presiona la tecla "Enter", que detiene el programa. Acto seguido, debe informar en voz alta de lo que ha visto (Heape, 2005).

Al margen de todas estas importantes aportaciones, un problema generalizado con los test diseñados hasta la fecha es que la velocidad angular del objeto permanece constante, con aceleración nula. Una vez más, sin embargo, en la vida real, y en el caso del deporte en particular, hay constantes aceleraciones y desaceleraciones en el desplazamiento del móvil al que hay que atender.

Con todo ello, y con el firme convencimiento de que un programa informático podría ser suficientemente versátil como para garantizar un cierto grado de fidelidad hacia las características de las diversas disciplinas deportivas, y a la vez, garantizar la validez y objetividad de la medición, diseñamos el DinVA 3.0. Acercarnos a la constatación de su fundamentación científica en la Teoría Multicanal y con plausibilidad neurofisiológica constituye uno de los principales objetivos de los experimentos que describiremos más adelante, en el sexto capítulo.

Visión y Deporte

4. Visión y Deporte

4.1. Introducción Histórica

El nacimiento de la visión deportiva podría situarse en Estados Unidos a principios del siglo XX como una aplicación del análisis optométrico funcional a la práctica deportiva.

Uno de los primeros estudios realizados en el ámbito de la Optometría deportiva fueron los realizados por Abel (1924) y Fullerton (1925) citados por Ferreira (2003). Tras analizar las habilidades visuales de un mítico jugador de béisbol americano concluyeron que su excepcional golpeo era posibilitado por una remarcable superioridad a nivel visual. Bannister y Blackburn (1931), citados por Ferreira (2003) sugirieron que los jugadores de rugby con mayor distancia interpupilar, gozaban de mejor percepción de las distancias, y en consecuencia, superior rendimiento deportivo. Winogard (1942) encontró diferencias estadísticamente significativas entre la visión de jugadores de béisbol y sedentarios, y Graybiel, Jokl y Trapp (1955) informaron de forias menores en tenistas de elite que en no deportistas.

Bauscher (1968) y Martin (1970) (citado por Martin, 1984), fueron de los primeros optometristas en realizar exámenes visuales completos a los deportistas, concluyendo que aproximadamente un 25% no conseguían los niveles óptimos de funcionalidad.

Garner (1977) (citado por Gregg, 1987), uno de los pioneros en establecer la especialidad de la Optometría deportiva, descubrió que la mayor parte de los jugadores de fútbol americano no utilizaban su neutralización óptica durante los encuentros. Esto le llevó a realizar un estudio durante cinco años, evaluando las habilidades visuales de más de 3000 deportistas, y constatando que el 27% estaban por debajo de las medias establecidas. Este trabajo resultó providencial para concienciar sobre la importancia de la visión en el deporte y dar a conocer las posibilidades de la optometría. Así mismo, abrió las puertas a posteriores estudios científicos.

En la década de los 60, la aparición de las primeras lentes de contacto marcan un punto de inflexión en el interés mostrado por parte de técnicos y jugadores en la “Visión y Deporte” y diversos clubes empiezan a requerir de forma más o menos continuada la labor del optometrista especializado para que evalúe y solucione los problemas visuales. Según Lieblein (1986), Bausch and Lomb informó, en 1977, que un 86% de los jugadores amétropes de béisbol, baloncesto y hockey sobre hielo utilizaban lentes de contacto.

También en la década de los 70 parecen las primeras publicaciones periódicas sobre la investigación en el ámbito de la optometría deportiva y la implicación que el entrenamiento visual tiene sobre el rendimiento deportivo (Gregg, 1987). Por citar solo un ejemplo, en 1973, Lee y Harrison observaron que tras un programa de entrenamiento visual se producía una mejora significativa en el rendimiento de los bateadores del equipo de béisbol de los *Kansas City Royals* (Loran y McEwen, 1995).

Progresivamente, disciplinas deportivas como el baloncesto, tenis, voleibol, etc. buscaron ayuda en estas técnicas de entrenamiento visual con el objeto de mejorar su rendimiento deportivo (Gregg, 1987).

A ello contribuye en gran manera el incremento gradual del interés social en el deporte como espectáculo, y la concienciación de la importancia de la actividad física como medio para reducir el estrés y gozar de una vida plena y equilibrada.

En respuesta a todo ello, el año 1978, se crea la Sección de Visión Deportiva (S.V.S.) dentro de la Asociación Americana de Optometría (A.O.A.), para agrupar a todos los optometristas interesados en esta especialidad y coordinar la investigación y divulgación en este campo (Gregg, 1987).

Posteriormente, el Comité Olímpico de los Estados Unidos y la A.O.A se comprometieron a desarrollar e investigar nuevos programas en Visión Deportiva y esta colaboración culminó en los Juegos Olímpicos (J.J.O.O.) de Los Ángeles en 1984, donde se estableció un protocolo de exámenes visuales

para los deportistas olímpicos. Alguna de las selecciones que además realizaron un programa de entrenamiento visual fue el equipo de voleibol, que celebró sus éxitos con el oro olímpico. (Loran et al, 1995)

En 1984, Garner estableció la *National Academy of Sports Vision*, siempre con el objetivo de dar a conocer y promocionar esta especialización al servicio del rendimiento deportivo. En 1988, este organismo pasó a denominarse *Internacional Academy of Sports Vision*, agrupando miembros de todas las regiones del planeta. Este evento representó un importante impulso para la Visión Deportiva, aglutinando investigadores de diversas disciplinas como la optometría, medicina, psicología y ciencias del deporte (Garner, 2000, citado por Ferreira, 2003).

En el año 1988 se fundó en Roma la Academia Europea de Visión Deportiva, institución sin afán de lucro, para la preparación técnico-científica de los especialistas en Visión Deportiva del viejo continente (Roncagli, 1990).

En ese mismo año, y con motivo de los JJOO de Seúl, hay constancia de que 16 selecciones deportivas de los Estados Unidos se prepararon “visualmente” siguiendo diversos programas de entrenamiento visual (Reichow y Coffey, 1992).

En 1992, con motivo de los J.J.O.O., la empresa de lentes de contacto *Bausch&Lomb* crea un Centro Olímpico de Visión en Albertville y Barcelona para ofrecer atención visual especializada a los atletas olímpicos. Posteriormente, la experiencia se repite en Atlanta y Sidney.

En 1992, en Madrid, y bajo iniciativa privada (Centro de Optometría Internacional) se crea el *Sports Vision Madrid* que ha sido “cuna” de medallistas olímpicos. En 1993, el departamento de Óptica y Optometría de la Universitat Politècnica de Catalunya incluye dentro del nuevo plan de estudios de la Diplomatura en Óptica y Optometría, la asignatura optativa de “Visión y Deporte”. En 1994, en Barcelona, se firma un convenio entre la Direcció General de l'Esport y la Universitat Politècnica de Catalunya, para la ubicación

en el Centro de Alto Rendimiento de Sant Cugat del Vallés, de un Centro de Visión y Deporte como un servicio más para la obtención del máximo rendimiento deportivo. Más recientemente, en la *Universitat de Valencia* surge el Grupo de Visión Deportiva que trabaja preferentemente dedicado al fútbol y al baloncesto.

En estos centros, el principal objetivo se concreta en optimizar el sistema visual del deportista, desarrollando actividades encaminadas a prevenir la patología y traumatismos con adecuada protección ocular y a la preparación del deportista para mejorar su rendimiento deportivo por medio de un sistema de neutralización óptica (gafas o lentes de contacto), y/o entrenamiento visual específico para su disciplina deportiva y el entorno donde ésta se desarrolla (Quevedo, 2003a).

Actualmente la “Visión y Deporte” es una asignatura presente en diversos masteres y cursos de postgrado y doctorado, y licenciados en diversas carreras han escogido realizar su tesis doctoral en esta área. A nivel profesional, se siguen realizando exámenes visuales a deportistas de diferentes disciplinas deportivas y, poco a poco, esta nueva vertiente del campo de la Optometría va haciéndose un hueco en nuestro país. Todavía hay muchos clubes reacios a pensar en la necesidad de tener un optometrista entre los profesionales que componen su equipo, pero cada día son más los que consideran que un examen visual adecuado y el entrenamiento de ciertas habilidades visuales pueden ayudar a mejorar el rendimiento del deportista.

4.2. Evidencias Científicas

Como sucede en la mayoría de las ocasiones, la evolución de esta disciplina a nivel clínico se ha apoyado en una serie de hallazgos científicos que diversos investigadores han ido ofreciendo con el objetivo de determinar la implicación del sistema visual en el deporte.

En 1980, Sherman publicó un artículo que constituye una revisión bibliográfica en la que concluye que la visión es la “señal” que dirige la respuesta muscular durante la actividad deportiva. Este autor sugirió que ciertas habilidades visuales como la agudeza visual dinámica, la percepción de la profundidad, la visión periférica y los movimientos oculares amplios son importantes para el rendimiento deportivo. Así mismo, informa de que estas habilidades pueden potenciarse mediante un entrenamiento visual apropiado (Sherman, 1980).

Stine, Arterburn y Stern (1982) publicaron un artículo titulado “Visión y deporte: Revisión bibliográfica” que aún hoy en día sigue siendo de los más citados en este ámbito. Los autores valoran tres cuestiones sobre “Visión y Deporte” que no han dejado de ser objeto de polémica. En primer lugar, concluyeron que los deportistas tienen habilidades visuales superiores a la población sedentaria, y que los deportistas de elite tienen habilidades visuales superiores a otros de menor nivel de rendimiento. Los autores citan diversos estudios que avalan esta afirmación. En segundo lugar, su artículo hace referencia a diversas habilidades visuales importantes para el rendimiento deportivo y se apoyan en artículos científicos para establecer que pueden entrenarse. El último, y más polémico aspecto del artículo, es un análisis de la hipótesis crucial: “el entrenamiento y mejora de las habilidades visuales se transfiere al rendimiento deportivo”. Los autores concluyeron que, a pesar de los esfuerzos realizados, ningún estudio había podido demostrar la existencia de dicha relación.

El libro “Vision and Sport” (Cockerill and MacGillivray, 1981) recopila 15 artículos que cubren una gran variedad de tópicos que van desde la influencia de la fatiga física sobre el tiempo de reacción visual a la contribución de los estilos perceptivos al rendimiento deportivo, pasando por el estudio de la visión periférica en el hockey. Con un importante elenco de autores en su mayoría profesores universitarios de ciencias del deporte, un cuarto de siglo después de su publicación, constituye la colección más amplia de estudios científicos en el área de la “Visión y Deporte”.

En la línea de Stine et al (1982), Hitzeman y Beckerman (1993) y Hazel (1995), tras exhaustivas revisiones coinciden en afirmar que la globalidad de estudios científicos puede ser analizada centrándose en tres cuestiones básicas:

1. ¿Son las habilidades visuales de los deportistas distintas a las de los sedentarios? ¿Hay diferencias entre niveles de rendimiento?
2. ¿Pueden entrenarse las habilidades visuales?
3. El entrenamiento y mejora de las habilidades ¿Puede transferirse al rendimiento deportivo?

La mayoría de esfuerzos de los investigadores han ido dirigidos a responder la primera cuestión, sugiriendo repetidamente que los deportistas implicados en deportes que demandan habilidades visuales específicas son superiores (en lo que respecta esas habilidades) a los no deportistas. Christenson y Winkelstein (1988) compararon once habilidades visuales relacionadas con el rendimiento deportivo, en dos grupos de población claramente distintos: Futbolistas de la Universidad de Southern California, y estudiantes de psicología con una actividad totalmente sedentaria. Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en la flexibilidad de vergencia, movimientos oculares sacádicos, tiempo de reacción visual, consciencia periférica y punto próximo de convergencia a favor de los deportistas. Los autores concluyen además, que los protocolos de algunas pruebas requieren modificaciones y que se necesita más investigación para tener datos más concluyentes. Como ya se ha mencionado al describir las diversas habilidades visuales, otros estudios (Ando et al, 2001; Brea, Rubiño y García, 1997; Melcher y Lund, 1992) indican que las habilidades visuales de los deportistas suelen ser mejores que las de la población sedentaria, a la vez que también tienden a mostrar diferencias entre niveles de rendimiento (Kluka et al, 1995; Reichow et al, 1986; Brea et al, 1997).

En nuestro país, diversos autores también han estudiado esta cuestión, evidenciando la superioridad visual de los deportistas (Solé, Quevedo, Massafret et al ,1999; Sillero et al ,2002; Montés-Micó, Bueno, Candel et al, 2000). De entre estos trabajos, destacamos la tesis doctoral de la Dra. De Teresa (1992) de la Unidad Complutense de Madrid, titulada "Visión y práctica

deportiva: Entrenamiento de biofeedback en deporte de alto rendimiento”. En la primera parte de este trabajo analiza las habilidades visuales de los deportistas que practican disciplinas individuales comparándolas con las de los que juegan en equipo. Los resultados muestran que hay habilidades, como la visión periférica, más desarrollada en los deportistas de equipo, y otras, como la flexibilidad acomodativa, superior en los tiradores de precisión.

Abordando esta cuestión desde otra perspectiva, es justo y necesario valorar los datos ofrecidos por otro grupo de investigadores que, formados principalmente en el campo de la psicología y ciencias del deporte (Abernethy, 1986; Garland y Barry, 1990; Williams, Davids, Burwitz et al, 1994; Ferreira, 2002) también se han centrado en determinar las diferencias visuales entre deportistas expertos y novatos, acuñando los términos “software” y “hardware” visual para estudiar la importancia de la visión en el deporte. Así, en el contexto del rendimiento deportivo, Williams, Davids, Burwitz et al (1992) denominan *hardware* visual a las habilidades visuales que, según estos autores, poco tienen que ver con las características de la disciplina deportiva en cuestión. Entre ellas se encontraría la salud ocular, la agudeza visual, la visión periférica y la percepción de la profundidad. La evaluación del *hardware* o de estos componentes estructurales del sistema visual se basa en técnicas optométricas más o menos estandarizadas.

El *software* o aspectos cognitivos del análisis, selección, codificación, recuperación y manejo general de la información visual disponible, incluye áreas como la percepción visual, estrategia de búsqueda visual, anticipación, tiempo de reacción visual y visualización. La evaluación de estas habilidades es mucho más difícil, y los investigadores están continuamente buscando métodos científicos objetivos, válidos y fiables para medirlas. A modo de resumen, podemos destacar que estos autores, si bien admiten que las deficiencias del *hardware* pueden constituir un límite para el rendimiento deportivo (Ferreira, 2002), también defienden que cada vez más investigaciones evidencian que en deportistas con un sistema visual “normal” es el *software*, o la forma como se procesa la información visual, lo que distingue expertos de novatos (Abernethy, 1986; Ludeke y Ferreira, 2003).

Esta cuestión, es decir, qué habilidades visuales marcan las diferencias entre los mejores deportistas y otros menos sobresalientes, resulta extremadamente importante, si consideramos la posibilidad de entrenar posteriormente estas capacidades con el objetivo de potenciar el rendimiento deportivo.

Valorando todas estas evidencias, somos conscientes que a partir de la literatura disponible, ningún factor separa consistentemente el sistema visual de los atletas de elite de los jugadores menos sobresalientes. Por lo tanto, aunque aceptamos que algunas medidas indican una posible diferencia entre la población de deportistas y sedentarios y entre distintos niveles de rendimiento, los datos no son del todo concluyentes y se necesitan más pruebas y estudios científicos.

Investigar la hipótesis de que los deportistas de elite poseen un sistema visual superior es complicado por diversos factores. En primer lugar, la palabra “deportista” es un término muy amplio dado que existen muchas disciplinas deportivas y las necesidades visuales para cada una de ellas suelen ser diferentes. Además, los deportistas pueden tener habilidades diferentes debido a las distintas demandas individuales de su “rol”.

En segundo lugar, existe la duda (más que razonable) de si las pruebas realizadas en un gabinete optométrico o laboratorio, con instrumentos no siempre suficientemente objetivos, resultan indicadores válidos y fiables del rendimiento visual en el terreno de juego. De todos es sabido que el rendimiento visual de un deportista está afectado por factores tan dispares e incontrolables como la actuación de compañeros y contrarios, la dificultad de la acción técnica, la respuesta táctica o la cantidad y tipo de iluminación (Solé, 1992).

Por último, si aceptamos que los deportistas tienen, en general, habilidades visuales superiores, no hay certeza de si éstas son innatas o tienden a desarrollarse a través de la práctica sistemática de su disciplina deportiva, aunque autores como Ishigaki y Yoshii (www.descente.co.jp/ishimoto/22)

apoyan la hipótesis de la excelencia a través del entrenamiento y experiencia en el deporte.

En esta tesis, y concretamente en el caso de la agudeza visual dinámica, nos proponemos estudiar si existen diferencias entre jugadores de waterpolo de elite y una población de estudiantes totalmente sedentaria de la misma edad. Queremos hacer notar que, si bien para los defensores de la preponderancia del *software*, esta habilidad forma parte de bs componentes estructurales o *hardware*, nosotros defendemos la especificidad de la agudeza visual dinámica dentro de las necesidades visuales de los jugadores de waterpolo en el desarrollo de su disciplina deportiva.

4.3. Áreas de actuación

El concepto de Optometría deportiva se desarrolla principalmente dentro del contexto comportamental de la optometría, como respuesta a una serie de problemas que plantea una actividad social como es el deporte. A nuestro modo de ver, esta filosofía encaja perfectamente con la idea globalista del rendimiento deportivo actual, concibiéndose este como el resultado de la adaptación a distintas naturalezas de estímulos, entre ellas la visual (Solé, 1996).

La definición de Visión y Deporte todavía comporta confusión entre deportistas, entrenadores, psicólogos y optometristas, según las áreas de actuación que se pretenda abarcar. Para algunos se restringe a la adaptación de lentes de contacto y proporcionar diferentes monturas que garanticen la máxima protección. Otros le atribuyen también la responsabilidad de mejorar algunas disfunciones visuales de los deportistas. A nuestro modo de ver, la Optometría deportiva por excelencia parte de una función visual normal, y busca la especialización de ciertas habilidades visuales (previamente evaluadas con instrumentos debidamente validados), determinantes en las diversas modalidades deportivas.

Así, apoyándonos en autores como Reichow y Stoner (1993), Sanet (1991, 1992) o Roncagli (1990), que plasman en sus trabajos la idea de conseguir un sistema visual “superior” para hacer frente a las exigentes demandas visuales del deporte, definimos “Visión y Deporte” como:

“Un conjunto de técnicas encaminadas a preservar y potenciar la función visual con la finalidad de incrementar el rendimiento deportivo, implicando un proceso mediante el cual se enseñan los comportamientos visuales requeridos en la práctica de las distintas disciplinas deportivas” (Quevedo y Solé, 1994).

Como ya queda plasmado en esta definición, en la actualidad, el campo de actuación de la “Visión Deportiva” se delimita dentro de las siguientes áreas:

1. Protección ocular, concretamente a las radiaciones ultravioletas y al impacto.
2. Neutralización óptica con gafas o lentes de contacto adaptadas específicamente a las necesidades del deporte, atendiendo a factores ambientales, y posiciones oculares y corporales extremas.
3. Análisis visual completo haciendo énfasis en la evaluación de las habilidades visuales específicamente relacionadas con las distintas disciplinas deportivas.
4. Entrenamiento visual general para eliminar los problemas visuales que puedan interferir en el rendimiento deportivo y entrenamiento visual específico de las habilidades visuales relacionadas con cada modalidad deportiva.

Acto seguido, pasamos a explicar brevemente los diversos apartados, recordando que es en el tercer punto, es decir en el ámbito de la evaluación de las habilidades visuales relacionadas con la práctica deportiva, donde se ubica la génesis de este trabajo.

- PROTECCIÓN OCULAR

En todas las disciplinas deportivas, el optometrista debería tener como premisa principal el proporcionar una protección ocular adecuada a las características del deporte, asociada o no a la compensación óptica.

Destacamos dos tipos de traumatismos oculares principales originados en la práctica deportiva:

1. Físico: Por radiación solar.
2. Mecánico: Por impacto y cuerpo extraño.

En los últimos años, en el contexto de los deportes practicados al aire libre, se ha visto una creciente sensibilidad hacia los daños causados por una exposición excesiva al sol y la necesidad de utilizar protección, especialmente contra la radiación ultravioleta. La exposición prolongada a este tipo de radiaciones en la práctica de deportes como el esquí, el alpinismo, la vela, el tenis, o el waterpolo pueden producir efectos dañinos en las estructuras externas e internas del ojo (Bergmanson y Sheldon, 1997). Así, deben evitarse, no solo los procesos agudos como queratoconjuntivitis asociadas a dolor intenso, lagrimeo, blefarospasmo y fotofobia, sino lesiones más graves como opacidades en el cristalino y cataratas, y degeneraciones maculares prematuras (Bergmanson y Soderberg, 1995). La reducción generalizada de la capa de ozono (estimada en España en un 10%) condiciona una entrada superior del UVA y UVB sobre la superficie terrestre, por lo que se hace imprescindible utilizar gafas de protección ocular ligeras y estables, cuyos cristales eliminen la radiación ultravioleta y atenúen la radiación visible para evitar las molestias del deslumbramiento y la luz azul (Florida, 2003).

Con referencia a los traumatismos mecánicos, y según un estudio realizado en Estados Unidos por la asociación *Prevent Blindness in America* publicado en 1994 (citado por Sillero, 2004), se considera que el 90% de las lesiones oculares podrían evitarse con el uso de una correcta gafa de protección. Al margen de la necesidad de utilizar o no neutralización óptica, la existencia de

gafas de protección ocular de policarbonato, resistentes, ajustables y que no interfieran con la visión periférica constituyen una opción interesante para evitar lesiones oculares.

También con este objeto es recomendable informar y concienciar a los deportistas, familiares, organizadores de competiciones y entrenadores de la importancia que tiene la prevención del accidente mediante la utilización de técnicas seguras y medios adecuados de protección, debido a que, una vez producido el traumatismo, las consecuencias pueden ser irreversibles. Como destaca Woods (1993), una lesión ocular no suele ser fruto de la mala suerte puntual, sino del incumplimiento repetido de unas mínimas normas de seguridad.

- NEUTRALIZACION OPTICA

La neutralización óptica con gafas o lentes de contacto es una de las áreas más básicas, y sin lugar a dudas, la más solicitada entre los servicios optométricos especializados para los deportistas.

Un estudio de Beckerman y Hitzeman (2001), informa de que, a pesar de la creencia de que la incidencia de problemas visuales en los deportistas es menor que en la población sedentaria, el porcentaje de errores refractivos (miopía, hipermetropía, astigmatismo...) resulta bastante similar.

En deportes de equipo existe una clara tendencia a evitar la corrección de pequeños errores refractivos que apenas afecten a la calidad de visión. Como regla general se corrigen todas las miopías mayores a -0.50 dioptrías, las hipermetropías mayores de $+1.00$ dioptría (para evitar fatiga visual), y los astigmatismos de más de 0.50 , pero resulta obvio que cada especialista debe analizar las necesidades visuales del deportista y según ello, escoger el medio de neutralización óptica y la prescripción más oportuna.

Las lentes de contacto se consideran el mejor sistema óptico compensador para el deporte, dado que presentan un gran número de ventajas como proporcionar

una imagen más similar a la del emétrope, apenas interferir en el campo periférico, permitir mayor libertad de movimiento, potenciar la seguridad y confianza en sí mismos de algunos deportistas (Schnider, Coffey y Reichow, 1993), e incluso, en contra de lo que comúnmente se cree, procurar un cierto grado de protección ocular (Kolstad y Opsahl, 1969; Socks, 1983; Cullen, 1992).

Actualmente, las lentes de contacto de primera elección para los deportistas son las denominadas de “reemplazo frecuente” que permiten gozar siempre de una lente de contacto nueva, con la comodidad en su uso y cuidado, y el mínimo impacto fisiológico que conlleva.

Por último, a finales del 2005, han empezado a comercializarse en España las primeras lentes de contacto específicas para la práctica del deporte. Las Nike MaxSight (Edmunds, 2006) son unas lentes de contacto coloreadas que se comportan como unas gafas de sol, minimizando el deslumbramiento y absorbiendo el 95% del UVA y UVB, y más del 90% de luz azul, lo cual conlleva una mejora en la claridad de visión y el contraste.

- ENTRENAMIENTO VISUAL

A pesar del desconocimiento generalizado del entrenamiento visual dentro del ámbito deportivo, en la actualidad, esta área de actuación resulta una de las más fascinantes y prometedoras (Wilson y Falkel, 2004).

El diseño y ejecución de cualquier programa de entrenamiento visual debe ir precedido de una **evaluación optométrica** completa, así como de las habilidades visuales requeridas para la disciplina deportiva en cuestión, con el objeto de establecer y analizar el rendimiento visual del jugador. Las especiales características de la mayor parte de deportes, involucrando movimiento, velocidad y precisión imponen demandas visuales distintas a las requeridas en la vida sedentaria. Todo ello implica la necesidad de realizar análisis visuales exhaustivos que en modo alguno pueden limitarse a la agudeza visual estática. La mayor parte de especialistas en la Visión Deportiva están de acuerdo en señalar una serie de habilidades más o menos relacionadas con las distintas modalidades deportivas. Así, usualmente, se evalúan la agudeza visual

estática, dinámica y sensibilidad al contraste, los movimientos oculares de seguimiento y sacádicos, la fusión binocular y acomodación, la percepción de distancias, la visión periférica y el tiempo de reacción visual. Algunas de estas habilidades, las que son comúnmente medidas en un gabinete optométrico, pueden ser valoradas con un instrumento estandarizado, válido y fiable, pero el resto, igualmente requiere de medios adecuados para este fin. A este respecto, y desafortunadamente, es necesario destacar que a pesar de los esfuerzos realizados por algunos investigadores (Christenson y Winkelstein, 1988; Coffey y Reichow, 1990; Buys 2002), en la actualidad aún no contamos con una batería estándar para establecer el grado de desarrollo de las capacidades visuales de los deportistas. En el apartado 3.3.2., dedicado exclusivamente a la valoración de la agudeza visual dinámica, se ha debatido más extensamente sobre esta cuestión.

Por el momento, volviendo al entrenamiento visual en el deporte, destacamos que en la práctica clínica lo estructuramos en tres grandes etapas:

1. Entrenamiento visual general: cuyo objetivo principal se concreta en proporcionar al individuo un óptimo nivel de funcionalidad visual en general.
2. Entrenamiento visual específico: Para potenciar las habilidades visuales más relacionadas con la disciplina deportiva y el rol del deportista en cuestión. En un primer momento se entrenan de forma genérica y progresivamente se incluyen elementos más específicos. Esta fase suele desarrollarse en la consulta de un optometrista especializado en visión deportiva, utilizando instrumentos sofisticados y especialmente diseñados para la "Visión y Deporte". Entre ellos: *Wayne Saccadic Fixator* (Wayne Engineering), *Reaction Movement Timer* (Lafayette Instruments), *AcuVision 1000* (International AcuVision Systems), etc. Para la ejecución del entrenamiento se intenta adaptar los ejercicios a las características del deporte, complementándolos con acciones motrices concretas.

En este punto, es importante considerar los beneficios adicionales que para un jugador lesionado puede comportar la realización de este tipo de ejercicios. Al margen de las mejoras en su función visual que puedan transferirse al rendimiento deportivo, resulta obvio que psicológicamente también puede resultar muy positivo para sobrellevar y superar con mejor ánimo esos periodos tan tediosos y frustrantes.

3. Entrenamiento visual integrado con elementos técnicos, tácticos, físicos, psicológicos, etc. Tiene como objetivo enseñar y/o modificar determinados comportamientos visuales específicos y entrenar las habilidades visuales de forma integrada con las capacidades psicológicas (concentración, activación...) y físicas (fuerza, resistencia...), así como con las acciones técnicas y tácticas (toma de decisiones), con la finalidad de conseguir que la mejora en el rendimiento visual tenga transferencia real en el rendimiento deportivo. Es precisamente en esta última parte del entrenamiento, que se realiza en campo utilizando instrumentos como el denominado Muñeco de entrenamiento Sicropat (Quevedo y Solé, 1994), así como material concreto de la disciplina deportiva practicada, donde, no sólo la labor del entrenador resulta más determinante, sino que se requiere de una aportación interdisciplinar para diseñar ejercicios que enseñen a los jugadores a utilizar la visión de la forma más efectiva para conseguir los resultados esperados (Solé, Quevedo y Massafret, 1999).

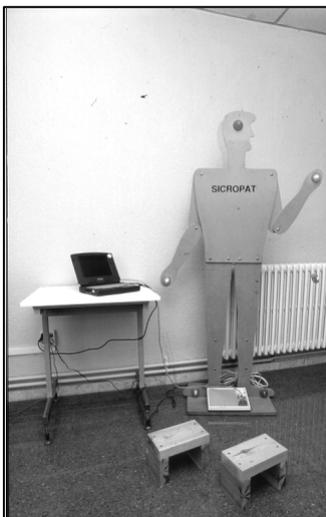


Imagen 4.1. Muñeco Sicropat para entrenamiento visual integrado.

Parte experimental

**Programa informático DinVA
3.0. para evaluar la agudeza
visual dinámica**

5. Programa informático DinVA 3.0.

5.1. Diseño y desarrollo

En 1985 el Comité especializado en visión del *National Research Council* de los Estados Unidos de América declaró en su libro *Emergent Techniques for Assessment of Visual Performance*, que la agudeza visual dinámica resulta mucho más útil para predecir el rendimiento en tareas cotidianas que la agudeza visual estática. Así mismo, recomendó la inclusión de la evaluación de la primera en las baterías de exámenes visuales para automovilistas, pilotos de aviación y deportistas y denunció la falta de un test válido y fiable para llevar a cabo la medición de la agudeza visual dinámica. Desde entonces, han sido muchos los autores (Banks et al, 2004; Coffey y Reichow, 1990; Long y Homolka, 1992; Quevedo y Aznar-Casanova, 2005) que han seguido manifestando la necesidad de diseñar un instrumento adecuado para tal fin.

Como ya hemos explicado, el hecho de que padeciéramos a diario las consecuencias de esa falta de equipamiento a la hora de desarrollar nuestro trabajo con deportistas de elite en el Centro de Visión del CAR de Sant Cugat del Vallés, nos decidió a diseñar un instrumento de medida, implementado en un programa de ordenador que nos permitiera valorar la agudeza visual dinámica de modo más objetivo, fiable y específico.

Hasta ese momento, como tantos profesionales especializados en la visión de los deportistas, habíamos evaluado la agudeza visual dinámica con un rotador de Bernell (Imagen 3.3.1.), entre cuyas limitaciones (ya explicadas en el apartado 3.3.2) destaca el hecho de que únicamente permite trayectorias circulares de desplazamiento del estímulo, y que tal movimiento no guarda fidelidad alguna con los que habitualmente se dan en el deporte. Así, una de las características que debía tener nuestro test era precisamente la posibilidad de describir trayectorias laterales, verticales y oblicuas, tanto lineales como parabólicas.

Otra de las dificultades que entraña la medición de la agudeza visual dinámica con el rotador de Bernell es que los optotipos utilizados son letras, que además de resultar totalmente inespecíficas para evaluar a los deportistas, la mayor parte del tiempo, y por efecto de la rotación, no están derechas, con lo que el observador debe de hacer, forzosamente, una transformación mental de la orientación que permita el correcto reconocimiento de la letra.

Para asegurar la especificidad de la medida según el contexto de aplicación, decidimos que sería conveniente poder utilizar diversos estímulos. En el caso concreto de esta tesis, y centrándonos muy especialmente en la determinación de la agudeza visual dinámica de los deportistas, decidimos utilizar el Optotipo Universal Anillo-disco de Palomar (Palomar, 1991) denominado así por sus autores por ser un anillo negro con un disco blanco como punto de referencia de apertura y un círculo negro en el centro (Figura 5.1.).

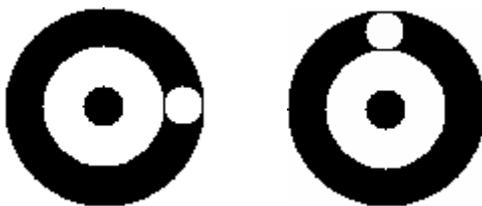


Figura 5.1. Anillo-Disco de Palomar.

Aunque uno de los optotipos más empleados por los investigadores de la agudeza visual dinámica ha sido, tradicionalmente, la C de Landolt, la razón de la elección del anillo-disco Palomar para nuestro test radica en que los estímulos (anillos), son vistos bajo el mismo ángulo en todos los diámetros, ya que los tamaños del disco blanco y el círculo negro del centro corresponden ambos al del *mínimum separabile*, y entre todos sus trazos existe siempre esta misma separación.

El disco blanco, cuya localización debe determinar el sujeto al cual se le evalúa la agudeza visual, se puede situar en las ocho posiciones principales correspondientes a los diámetros vertical, horizontal y oblicuos, a 45° y 135° respectivamente.

La exactitud con la que este optotipo permite valorar la agudeza visual y su forma redonda, comparable a una pelota fueron el punto de partida para intentar diseñar un test que permitiera la medición específica de la agudeza visual dinámica, entre otras actividades, en las distintas disciplinas deportivas en las que resulta determinante esta habilidad (deportes de raqueta, deportes colectivos...).

Buscando siempre la máxima fidelidad respecto al contexto real de aplicación, pensamos que con nuestro instrumento debía poder seleccionarse, no sólo el estímulo, sino también su color e intensidad, y los colores o fotografías (relacionadas con el entorno habitual de cada disciplina deportiva en cuestión) que conforman el fondo o pantalla del test.

También con el objetivo de establecer las máximas semejanzas posibles con el entorno deportivo, decidimos que el test también debía de poder realizarse a mayor distancia que los 50 cm a los que es habitual situarse al trabajar con un ordenador.

Adicionalmente, conscientes de que el concepto agudeza visual dinámica conlleva la unión de los elementos agudeza visual y velocidad, pensamos que nuestro test, para resultar completo, debería permitir su valoración de dos formas distintas. Es decir, por un lado, manteniendo constante el tamaño del estímulo y modificando (disminuyendo) su velocidad de desplazamiento por la pantalla, y por otro, a una velocidad determinada del estímulo, variar (aumentar) el tamaño hasta que sus detalles puedan ser discriminados por el observador. En resumidas cuentas, diseñar dos versiones para medir la agudeza visual dinámica en términos de agudeza visual (tamaño) y velocidad de desplazamiento.

Teniendo en cuenta el ritmo al que está evolucionando la informática en las últimas décadas, nos parecía de especial importancia que nuestro instrumento no quedara inevitablemente obsoleto en poco tiempo. Por ello, debía implementarse de forma que sus prestaciones crecieran con los avances tecnológicos en este campo.

Todos los elementos hasta aquí citados, más o menos complementarios, se fueron implementando sin dificultades en el programa informático DinVA desarrollado por los ingenieros que, a tal efecto, participaron en esta investigación. No obstante, la programación de la velocidad de desplazamiento del estímulo, sin duda el aspecto más importante de un instrumento de evaluación de la agudeza visual dinámica, planteó serios problemas.

En este sentido, y con el objetivo de explicar brevemente en qué consistieron tales dificultades, responsables de retrasar considerablemente la consecución de la versión actual del test DinVA, diremos que en un primer momento, la velocidad de desplazamiento se modificaba mediante la alteración de la distancia de dos dibujos consecutivos en la pantalla. Así, para velocidades bajas, la distancia entre dos dibujos consecutivos de una trayectoria era pequeña, dando lugar a un movimiento bastante continuo. Por otro lado, las velocidades más altas se obtenían reduciendo el número de dibujos utilizados para desplazar el optotipo, comportando distancias mayores entre dibujos consecutivos y observándose un efecto de desplazamiento a saltos. Esta forma de implementar la velocidad que intuitivamente podía parecer adecuada aportó resultados totalmente inesperados, que no solo contradecían los hallazgos de la bibliografía especializada, sino que atentaban contra el sentido común. Así, los resultados evidenciaban que la agudeza visual dinámica mejoraba al aumentar la velocidad de desplazamiento del estímulo.

Diversos experimentos realizados a posteriori, nos permitieron interpretar los resultados, considerando que los observadores eran capaces de desarrollar distintas estrategias de exploración visual según la forma de desplazamiento del estímulo por la pantalla. Estos patrones de búsqueda visual se evidenciaron como responsables de que, en definitiva, las diversas condiciones de velocidad no resultaran comparables. (Véase Quevedo, 2003b).

Con todo ello, se programó de nuevo el DinVA (DinVA 2.0.) para que, en lugar de variar la distancia de aparición de los dibujos que conllevaba distintas implicaciones de los movimientos oculares, y que no permitían comparar

resultados en las diversas condiciones (DinVA 1.0.), la velocidad quedara modificada por el tiempo de exposición del estímulo.

Finalmente, y dado que con el DinVA 2.0. el movimiento obtenido seguía siendo discontinuo y, en general, resultaba poco satisfactorio, se llegó a la versión actual DinVA 3.0., cuyas características técnicas describimos a continuación.

5.2. Características

Estímulo

Como hemos dicho anteriormente, en esta tesis utilizamos el Anillo-disco Universal de Palomar, que permite una medición exacta de la agudeza visual (Figura 5.1.).

También es interesante observar que este estímulo, en el dominio frecuencial equivale a una frecuencia espacial de 2.5 ciclos/imagen, por lo que, conocida la medida del diámetro del círculo interno, se puede convertir a ciclos/grado de ángulo visual.

Aplicado al DinVA, y para conseguir una medición correcta de la agudeza visual, el estímulo debe tener ciertas características importantes en cuanto a su tamaño y color. En estos experimentos el dibujo se realizó en formato bmp sobre un fondo blanco de 100 píxeles de ancho por cien de alto. Los colores blancos que se encuentran dentro del dibujo se hacen transparentes permitiendo así que se observe el fondo de la pantalla, que puede ser de un color cualquiera o una imagen seleccionada en formato JPEG. Es importante tener en cuenta que el estímulo puede ser dibujado con cualquier editor de imagen, como por ejemplo: Paint, Paint Shop Pro o Photo Paint, entre otros.

Pantalla

Como ya hemos dicho, con el DinVA no sólo puede seleccionarse el tipo de estímulo, su color e intensidad, sino también los colores o fotografías (en formato JPEG) que conforman el fondo o pantalla del test. Ello supone, como ya se ha dicho, una mejora en el grado de especificidad que se pretende.



Figura 5.2. Diversas imágenes para utilizar como fondo de pantalla

Trayectorias

Existe un menú de distintas opciones de trayectorias cuya forma (lineal o parabólica) puede ser previamente determinada, y que confiere mayor especificidad a la evaluación. El programa también ofrece la posibilidad *swinging* o balanceo del estímulo. Debajo mostramos las distintas trayectorias que permite el DinVA 3.0.:

- Horizontal derecha-izquierda y viceversa
- Vertical arriba-abajo y viceversa
- Diagonal izquierda/arriba-derecha/abajo y viceversa
- Diagonal derecha/arriba-izquierda/abajo y viceversa
- Al azar

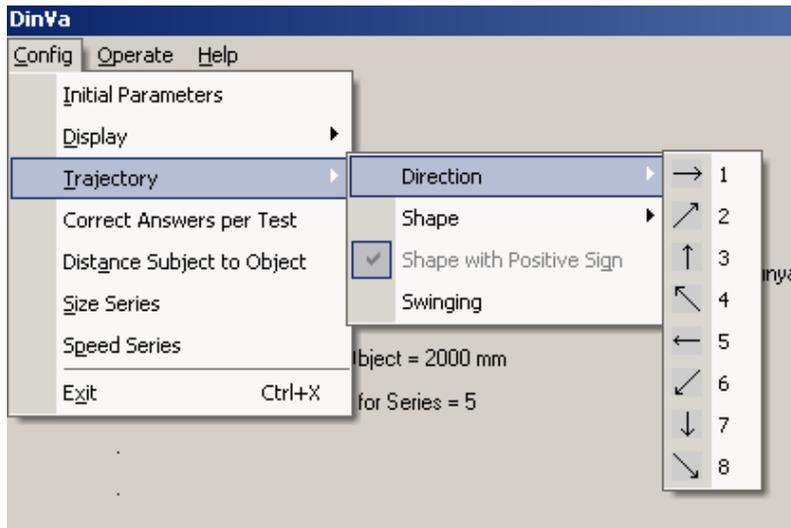


Figura 5.3. Menu con opciones de trayectoria.

Distancia

El hecho de que mediante un alargador de teclado, el test pueda ser realizado a una distancia de hasta 5 metros, sensiblemente mayor a la comúnmente utilizada para trabajar con un ordenador (45-50 cm aproximadamente) le confieren otro punto adicional en la pretendida especificidad que le atribuimos, dado que en los deportes suele tener que responderse a estímulos situados a una cierta distancia.

Formas de medición

Con la globalidad de parámetros presentados pueden realizarse múltiples combinaciones para evaluar la agudeza visual dinámica de dos formas posibles mediante:

1. Series de Tamaño constante (Size Series).
2. Series de Velocidad constante (Speed Series).

1. Series de Tamaño constante (Size Series):

Estas series están formadas por una secuencia de bloques de ensayos cuya característica principal es que el tamaño del estímulo, previamente

determinado, permanece constante, mientras en su desplazamiento por la pantalla, va disminuyendo su velocidad desde el valor máximo al mínimo. En total se pasa por 10 velocidades posibles, cambiando cada 2.3 seg. en el caso de que el sujeto evaluado no reconozca e indique antes la orientación de la apertura del anillo.

El tamaño del disco queda determinado por el diámetro de la abertura (ϕ), siendo el diámetro exterior del estímulo 5s. Los tamaños posibles que contempla el programa son 10, y van desde el mínimo, de 2 píxeles, hasta el máximo, de 11. La AV obtenida en cada serie depende de la distancia entre el sujeto y la pantalla del ordenador, y del tamaño del anillo en mm, que a su vez, es función del tamaño y la resolución de la pantalla. En el caso de esta tesis, y considerando que se han tomado las medidas a 2 metros de distancia, cuando el diámetro del círculo interno es de dos píxeles, el tamaño corresponde a una agudeza visual de 0.964, mientras que cuando es de 11 píxeles, equivale a 0.241.

La velocidad inicial de desplazamiento es la máxima dependiendo de las prestaciones del ordenador y su procesador gráfico (en el caso de esta tesis 0.503 m/s). Corresponde al 100% (máxima) y luego va disminuyendo durante el test, en pasos del 10% hasta 0 m/seg. Si se alcanza la mínima velocidad (concretamente menor a 0.05 m/s) antes de que el sujeto haya dado una respuesta, el desplazamiento cesa y se considera respuesta incorrecta.

Una vez el test está configurado (parámetros estimulares de tamaño inicial, contraste, criterio de respuesta y trayectoria definidos, etc...), éste se pone en marcha.

En primer lugar, el programa solicita el nombre del sujeto evaluado y posteriormente, al presionar los botones *Run* y *Begin*, el estímulo aparece en pantalla y el programa espera la respuesta del sujeto pulsando, tan pronto como sea capaz de hacerlo, la flecha del teclado numérico que identifica la posición de la apertura o disco blanco del anillo. Cuando el sujeto responde, el programa guarda los resultados e inicia otro test.

Cuando el número de respuestas correctas iguala a un número previamente determinado al configurar la serie (según el criterio experimental de respuestas establecido), esta finaliza y la pantalla muestra la velocidad media (en metros/segundo) y la desviación estándar, así como el número de errores realizados.

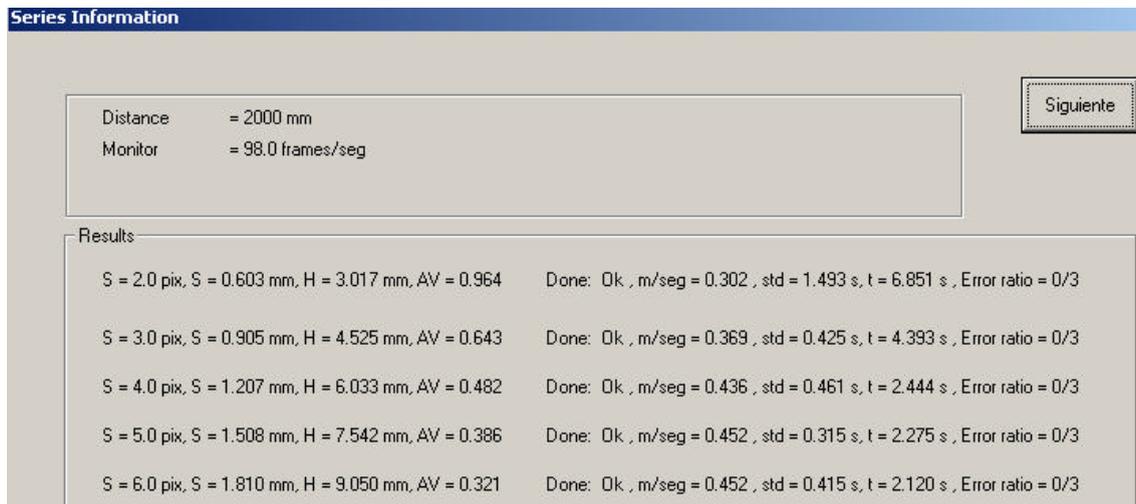


Figura 5.4. Pantalla de resultados obtenidos con diversas series de tamaño.

2. Series de Velocidad constante (*Speed series*):

Formadas por una secuencia de tests cuya característica principal es que la velocidad del estímulo, previamente determinada, permanece constante. Mientras, en su desplazamiento por la pantalla, va aumentando el tamaño del estímulo desde el mínimo ($s=2$ píxeles) al máximo ($s=11$ píxeles), pasando por los 10 valores posibles y cambiando su tamaño cada 2.3 segundos en el caso de que el sujeto evaluado no reconozca e indique antes la orientación de la apertura del anillo. En el caso de esta tesis, las posibles velocidades de desplazamiento del optotipo van desde 0.05 m/seg a 0.503m/seg.

El tamaño inicial del estímulo es el mínimo ($s=2$ píxeles) y, como se ha dicho, va aumentando durante el test. Si se alcanza el tamaño máximo ($s=11$ píxeles) antes de que el sujeto haya dado una respuesta, el desplazamiento cesa y se considera respuesta incorrecta. La AVD obtenida en cada test depende de la distancia entre el sujeto y el anillo en la pantalla del ordenador, y el tamaño de

éste. Por ello, fijando la distancia de observación a 2 metros, la AVD viene expresada por el menor tamaño estimular que el sujeto es capaz de resolver a una determinada velocidad.

Una vez el test está configurado (definición de parámetros estimulares de contraste, velocidad, trayectoria y criterio de respuestas, etc...), éste se pone en marcha. En primer lugar, el programa solicita el nombre del sujeto evaluado y posteriormente, al presionar los botones *Run* y *Begin*, el optotipo aparece en pantalla y el programa espera la respuesta del sujeto pulsando la flecha del teclado numérico que identifica la posición de la apertura del optotipo. Cuando el sujeto responde, el programa guarda los resultados e inicia otro test.

Cuando el número de respuestas correctas iguala a un número previamente determinado al configurar la serie (según el criterio experimental de respuestas del sujeto establecido), esta finaliza y la pantalla muestra, para cada velocidad de desplazamiento, la agudeza visual media y la desviación estándar, así como el número de errores realizados.

Series Information	
Distance	= 2000 mm
Monitor	= 98.0 frames/seg
Results	
Vel = 10 , V = 0.050 m/s	Done: Ok ,av = 0.643, std = 0.115 s, t = 2.410 s , Error ratio = 0/5
Vel = 1 , V = 0.503 m/s	Done: Ok ,av = 0.292, std = 1.203 s, t = 7.591 s , Error ratio = 0/5
Vel = 5 , V = 0.302 m/s	Done: Ok ,av = 0.603, std = 0.600 s, t = 2.916 s , Error ratio = 0/5

Figura 5.5. Pantalla de resultados obtenidos con diversas series de velocidad.

Configuración de parámetros

De forma previa a la realización de medidas, siempre es necesario llevar a cabo una calibración del instrumento. Esta se basa en determinar el ancho y alto del rectángulo de la pantalla de presentación del programa. Estos valores

en milímetros se introducen posteriormente en las casillas indicadas de la pantalla de configuración.

Como ya se ha mencionado, para poder realizar la medición de la AVD, el examinador debe configurar las series de tests determinando previamente los siguientes parámetros:

- El avance (píxeles) del optotipo a través de la pantalla, que modifica la velocidad.
- El ancho y alto del rectángulo de la pantalla inicial para determinar el tamaño del optotipo.
- El modo: *Hard* o *Easy*. El modo *Easy*, o fácil, permite evaluar individuos con menor agudeza visual. El modo *Hard*, es el que se ha utilizado en esta tesis.
- La tasa de refresco de la pantalla.
- La imagen o color del fondo de la pantalla.
- El estímulo u optotipo.
- La trayectoria del optotipo, específicamente determinada, o al azar.
- El swinging, o balanceo del estímulo.
- El número de respuestas correctas por test, que depende del criterio experimental prefijado por el examinador. (En cualquier caso, el número de veces que el observador puede fallar equivale a menos de un 40% del número de respuestas correctas definidas por el test. Por ejemplo, si el examinador selecciona el parámetro de 5 respuestas correctas, esto significa que el sujeto puede fallar hasta dos veces en la selección de la dirección del optotipo. Al tercer fallo, automáticamente finalizará el test, mostrando los resultados).
- El número de ensayos.
- La distancia del sujeto evaluado a la pantalla del ordenador (desde 400 a 5000 mm) para el cálculo de la agudeza visual.
- El tipo de serie: Tamaño constante o Velocidad constante (Size Series o Speed Series).

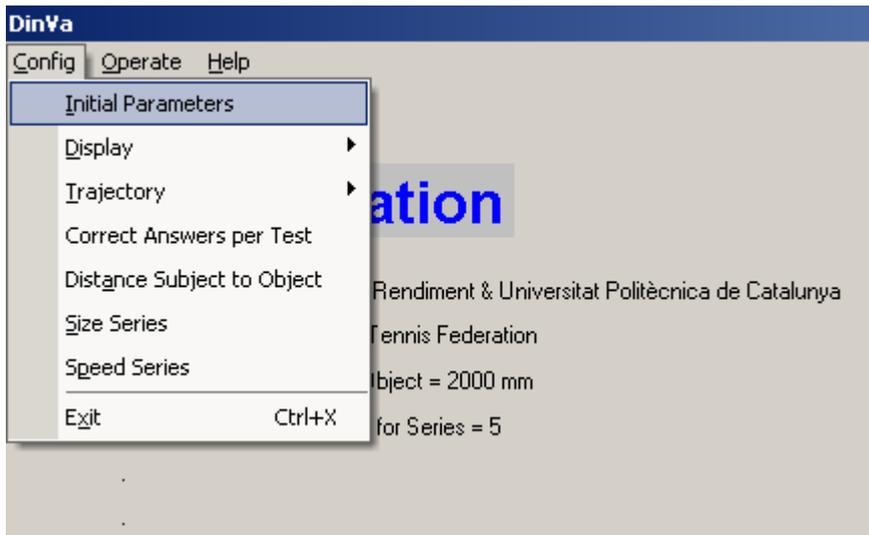


Figura 5.6. Configuración de parámetros

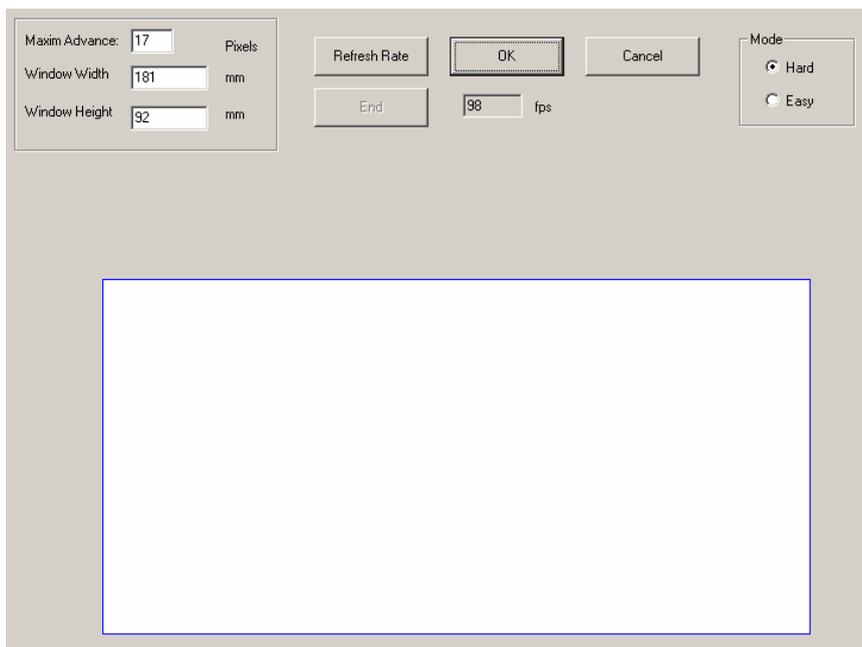


Figura 5.7. Calibración (midiendo el ancho y largo del rectángulo) y configuración inicial (avance en píxeles del estímulo a través de la pantalla).

Config Test of Size Series		Config Test of Speed Series	
Distance	= 2000 mm	Distance	= 2000 mm
Monitor	= 98.0 frames/seg	Monitor	= 98.0 frames/seg
Vel Range	= max: 0.503 m/seg, min: 0.050 m/seg	Av Range	= max: 0.964, min: 0.175
<input checked="" type="checkbox"/> S = 2.0 pix S = 0.603 mm H = 3.017 mm AV = 0.964 <input checked="" type="checkbox"/> S = 3.0 pix S = 0.905 mm H = 4.525 mm AV = 0.643 <input checked="" type="checkbox"/> S = 4.0 pix S = 1.207 mm H = 6.033 mm AV = 0.482 <input checked="" type="checkbox"/> S = 5.0 pix S = 1.508 mm H = 7.542 mm AV = 0.386 <input checked="" type="checkbox"/> S = 6.0 pix S = 1.810 mm H = 9.050 mm AV = 0.321 <input checked="" type="checkbox"/> S = 7.0 pix S = 2.112 mm H = 10.558 mm AV = 0.276 <input checked="" type="checkbox"/> S = 8.0 pix S = 2.413 mm H = 12.067 mm AV = 0.241 <input checked="" type="checkbox"/> S = 9.0 pix S = 2.715 mm H = 13.575 mm AV = 0.214 <input checked="" type="checkbox"/> S = 10.0 pix S = 3.017 mm H = 15.083 mm AV = 0.193 <input checked="" type="checkbox"/> S = 11.0 pix S = 3.318 mm H = 16.592 mm AV = 0.175 <input type="checkbox"/> Ordre Aleatori		<input checked="" type="checkbox"/> Vel = 1 V = 0.503 m/s <input type="checkbox"/> Vel = 2 V = 0.452 m/s <input type="checkbox"/> Vel = 3 V = 0.402 m/s <input type="checkbox"/> Vel = 4 V = 0.352 m/s <input checked="" type="checkbox"/> Vel = 5 V = 0.302 m/s <input type="checkbox"/> Vel = 6 V = 0.251 m/s <input type="checkbox"/> Vel = 7 V = 0.201 m/s <input type="checkbox"/> Vel = 8 V = 0.151 m/s <input type="checkbox"/> Vel = 9 V = 0.101 m/s <input checked="" type="checkbox"/> Vel = 10 V = 0.050 m/s <input checked="" type="checkbox"/> Ordre Aleatori	

Figura 5.8. Configuración Series de Tamaño (*Size Series*) y Series de Velocidad (*Speed Series*).

Determinación de la agudeza visual

El resultado de la AV depende del tamaño del píxel. Concretamente, en nuestro laboratorio utilizamos una pantalla de 1024x768 en la que el tamaño de cada uno de los píxeles equivale a 0.3016 mm. Como se ha explicado, existe un rango de tamaños de optotipo dibujados en pantalla que va desde s=2 píxeles hasta s=11 píxeles.

Por ejemplo, para una distancia de 2 metros entre sujeto y pantalla:

Píxels Optotipo	S píxels	S (mm)	D (mm)	AV
10	2	0.603	2000	0.964
15	3	0.905	2000	0.643
20	4	1.207	2000	0.482
25	5	1.508	2000	0.386

Tabla 5.1. Relación entre tamaño del píxel, tamaño del estímulo y agudeza visual.

Determinación de la velocidad

La velocidad de desplazamiento del optotipo depende del número de imágenes por segundo que pueden ser representadas en el dispositivo gráfico del PC, del tamaño del píxel y del avance del estímulo a través de la pantalla (Ecuación 5.1).

$$vel.\left(\frac{\text{metros}}{\text{segundo}}\right) = \text{velocidad del pc}\left(\frac{\text{dibujos}}{\text{segundo}}\right) \times \text{dist.}\left(\frac{\text{metros}}{\text{dibujo}}\right) \times \text{avance}$$

Ecuación 5.1. Fórmula para el cálculo de la velocidad utilizada en el test DinVA 3.0.

El avance es una constante que define el salto en píxeles que se da cada vez que dibuja el estímulo. Si el avance determinado es 1, dibujará en todos los píxeles de la pantalla (1024), y si es 17, dibujará el estímulo un total de 60 veces a lo largo de una pantalla de 1024.

Para obtener las 10 velocidades diferentes, se modifica el avance dependiendo de la velocidad seleccionada. Por ejemplo: Definiendo inicialmente como valor de avance 17, si la velocidad seleccionada es V1, el avance final equivale al 100% del definido inicialmente, o sea 17. Si seleccionamos V2, el avance equivale al 90% del definido inicialmente, es decir 15. Para la velocidad V3, el avance final es de 13 y así sucesivamente hasta una velocidad de 10 que quedaría con un avance de 1.7 (es decir, 2 píxeles).

En definitiva, el avance real es un porcentaje del avance definido inicialmente, y constituye el parámetro que determina para un ordenador con iguales características de velocidad del PC y de tamaño en píxeles, las diferentes velocidades del estímulo.

En caso concreto de esta tesis, hemos utilizado las siguientes velocidades:

Tasa de refresco	Tamaño Optotipo (mm)	Avance (píxeles)	Velocidad	Avance real (píxeles)	Velocidad (m/seg)
100	0.301667	17	1	17	0.503
100	0.301667	17	5	9	0.302
100	0.301667	17	10	2	0.05

Tabla 5.2. Relación de velocidades utilizadas en el test DinVA 3.0. para el proceso de su validación.

Lógicamente, la velocidad de desplazamiento puede variar si se utilizan diferentes computadoras para realizar las series. Por este motivo, sólo serán directamente comparables los resultados de series realizadas con ordenadores de prestaciones y características equivalentes.

Lenguaje

El lenguaje en que se ha desarrollado el programa es el Visual C++ 6.0, con la librería de clases MFC (*Microsoft Foundation Class*) usando el SDK (*Software Development Kit*) de Direct X 8.0 para potenciar las velocidades de actualización de pantalla y gráficas.

Requisitos

Este programa necesita un ordenador con la versión Windows NT o superior, y más de 32 MB de RAM. La resolución de la pantalla debe ser de un mínimo de 1024x768, con color verdadero.

Por último, confiando en haber conseguido un instrumento objetivo, de fácil aplicación y razonablemente específico, procedimos a constatar su validez y fiabilidad, para proceder posteriormente a su aplicación en el ámbito del deporte de elite.

Validación del test DinVA 3.0.

6. Validación del test DinVA 3.0. como instrumento para la determinación de la agudeza visual dinámica

6.1. Determinación de la influencia de la velocidad, el contraste y la trayectoria en la agudeza visual dinámica valorada con el test DinVA 3.0.

INTRODUCCION

El objetivo de este estudio se centra en validar el DinVA 3.0. como instrumento de medida de la agudeza visual dinámica, sensible a tres propiedades del estímulo: contraste, trayectoria y velocidad.

Cuando diseñamos un test, la comprobación de las propiedades métricas de dicho instrumento constituye una de las cuestiones básicas para legitimar su uso en un contexto aplicado. En este sentido es importante exigir a los instrumentos que sean fiables (precisos y consistentes) y válidos (que midan aquello que pretenden medir).

La segunda de las propiedades métricas enunciadas, *la validez*, resulta de máxima importancia en el proceso de construcción de un test y, genéricamente hablando, requiere verificar la utilidad de la medida realizada, es decir, el significado de las puntuaciones obtenidas. Es precisamente la validez la que permitirá realizar las inferencias e interpretaciones correctas de las puntuaciones que se obtengan al aplicar un test y establecer la relación con el constructo/variable que se trata de medir.

El concepto de validez ha ido modificándose a lo largo del tiempo. En un principio la validez de un instrumento de medida era evaluada por una diversidad de procedimientos. Se hablaba de validez aparente, validez intrínseca, por definición, validez lógica, validez factorial, etc. (Anastasi, 1986). Esta multitud de denominaciones llevó a la *American Psychological Association* (APA) a publicar a mediados de los años cincuenta (1954) un manual con recomendaciones técnicas para el uso y diagnóstico con tests psicológicos. En esta primera publicación, de lo que más tarde constituirían los *Standards*, se pretendía establecer algún orden en la práctica de la construcción de tests. Las

consecuencias que tuvo para la validez fueron inmediatas ya que se delimitaron y denominaron los distintos tipos de validez que un test debe incluir, refiriéndose a la validez de *contenido*, *predictiva*, *concurrente* y de *constructo*.

En los estándares de 1974, que la APA publica en colaboración con la *American Educational Research Association* (AERA) y el *National Council on Measurement in Education* (NCME), la validez predictiva y concurrente se unifican en la denominada validez de criterio. Queda así configurada la estructura tripartita de la validez (contenido, criterio y constructo) (Guion, 1980), que aún hoy en día domina el campo aplicado de validación de los instrumentos de medida.

Así, actualmente se acepta que la validez puede ser:

- De contenido
- De criterio
- De constructo

Para decir que un instrumento tiene validez de **contenido** el diseñador del test debe asegurarse de su relevancia y de que la medición represente el concepto medido. En nuestro caso, el concepto es la agudeza visual dinámica, la importancia de cuya determinación vienen reclamando reiteradamente autores como Long et al. (1988, 1992, 1996, 1998, 2002) o entidades como el *Comitee on Vision del Nacional Research Council* de EEUU (1985) y el Rail Safety and Standards Board (Heape, 2005).

En cuanto a la representatividad de su medición, la descripción del diseño y funcionamiento del DinVA, apoyados en la objetividad de la aplicación informática avalan este tipo de validez. Recordemos que la agudeza visual se cuantifica mediante el valor del inverso del ángulo visual, expresado en minutos, que subtiende el mínimo detalle del test que se debe reconocer. En el ámbito clínico, la medida de la agudeza visual suele hacerse con optotipos de máximo contraste entre figura y fondo. Cualquier optotipo, para responder a una base científica se debe construir inscrito en un cuadrado que encierra, por

división de cada lado en cinco partes iguales, veinticinco cuadrados más pequeños (Palomar 1991).

Esto implica que si se cumple este principio, un optotipo adecuado debería tener una misma dimensión en anchura y altura. Escogimos el Anillo-Disco Universal de Palomar (Palomar, 1991) como estímulo para nuestro estudio por la exactitud de su medida, dado que es visto bajo el mismo ángulo en todos los diámetros, ya que los tamaños del disco blanco y el círculo negro del centro corresponden ambos al del *mínimum separabile*, y entre todos sus trazos existe siempre esta misma separación que nos asegura una medición objetiva de la AV. (Ver Figura 5.1.)

Con referencia a la validez de **criterio**, el diseñador del test la puede establecer comparando la medición obtenida con la de un criterio externo, es decir, otro instrumento debidamente validado. Cuanto mayor sea la relación de los resultados de la investigación con los del criterio, mayor será la validez del instrumento. Desafortunadamente, en nuestro caso, y tal y como se ha indicado en la introducción, carecemos de un instrumento previo adecuadamente validado que pueda servirnos como criterio o referencia. Por ello, no nos es posible estudiar este tipo de validez.

Por último, la validez del **constructo** indica cómo una medición se relaciona con otras de acuerdo con la evidencia teórica o hipótesis que concierne a los conceptos que se están midiendo. De ahí que sea importante que el investigador tome en cuenta dichos conceptos para estudiar sus interrelaciones posteriormente.

En todo este camino recorrido por la validez, es sin embargo, la de constructo la que va cobrando mayor importancia. Messick (1975) defiende que es un concepto unificador que integra consideraciones de contenido y de criterio para probar hipótesis racionales acerca de relaciones teóricamente relevantes. Además, resulta más general que la validez predictiva, que es específica de los criterios externos utilizados, así como de los grupos evaluados. Messick

concluye que, en la medida, toda la evidencia de validez debe ser de constructo.

La evolución que sufre la validez durante los años ochenta se refleja en la definición dada en la edición de 1985 de los *Standards of educational and psychological testing* "La validez es la consideración más importante en la evaluación de un test. El concepto se refiere a la adecuación, significado y utilidad de las inferencias específicas hechas con las puntuaciones de los tests". La validación de un test es "el proceso de acumular evidencia para apoyar tales inferencias".

En este capítulo se describe un experimento mediante el cual nos proponemos valorar la validez de constructo de un instrumento de medida, el programa informático denominado DinVA 3.0, que permite valorar la agudeza visual dinámica. Para ello, nos remitimos a las evidencias teóricas y los datos obtenidos a este respecto en los distintos estudios científicos llevados a cabo a partir de los trabajos pioneros de Ludvigh y Miller en los años 50. Estos trabajos han sido descritos brevemente en el apartado 3.3.1. (tercer capítulo de esta tesis), y se han tomado como base para establecer los diferentes factores a estudiar.

De entre los elementos más importantes que modulan la habilidad visual que nos ocupa, hemos seleccionado, en primer lugar, la velocidad de desplazamiento del estímulo y su contraste con el fondo, y complementariamente, la trayectoria que describe.

Entenderemos, según la propia definición de validez de constructo, que nuestro instrumento será válido, si los resultados obtenidos están en la línea o convergen en la misma dirección que los ofrecidos por la literatura especializada.

Así, nuestro objetivo se centra en fundamentar la validez de constructo del test DinVA 3.0 como instrumento de medida de las capacidades visuales del ser humano para discriminar detalles de un objeto en movimiento.

Para ello, en primer lugar, verificaremos la influencia (efectos principales) sobre la AVD de tres factores seleccionados acorde con lo anteriormente comentado:

- El contraste.
- La trayectoria.
- La velocidad.

Posteriormente determinaremos la existencia de posibles interacciones entre los factores mencionados y la AVD.

Basándonos en la bibliografía especializada presentamos de modo sintético las hipótesis formuladas:

1. La agudeza visual dinámica disminuye conforme disminuye el contraste (Brown, 1972b; Mayyasi et al, 1971).
2. La agudeza visual dinámica crece en relación inversa a la velocidad de desplazamiento del estímulo (Miller, 1958; Burg, 1966; Long y Vogel, 1998).
3. De acuerdo con Gesell, Igs y Bullis (1950), la AVD es mayor en las trayectoria horizontal que en las diagonales.

Por último, basándonos en los datos de diversos autores (Burg y Hulbert, 1961; Ishigaki y Miyao, 1994), formulamos otra hipótesis complementaria con respecto a las diferencias de AVD relativas al género:

4. Los varones presentan AVD superior a las mujeres.

METODO

Participantes

Treinta y tres estudiantes voluntarios de la *Escola d' Optica i Optometria* (17 varones y 16 mujeres), con edades comprendidas entre 18 y 33 años ($X_{\text{edad}}=23,34$ $SD=3,92$). En todos los casos, la agudeza visual estática, determinada con el anillo Disco Universal de Palomar (Palomar, 1991), era superior a 0,9 y ninguno de ellos superaba las 4 dioptrías de miopía.

Respecto a los valores de la función de sensibilidad al contraste, estaban situados dentro de curva normal, según criterio de Vectorvision Inc. (Viñas, 1988).

De igual forma, los movimientos oculares sacádicos y de seguimiento también se encontraban dentro de la norma (SCCO 4 +, citado por Scheiman y Wick, 1996).

Finalmente, mencionar el requisito de que no hubieran realizado ningún tipo de actividad deportiva continuada y que no tuvieran experiencia en video-juegos.

Materiales

Ficha con datos de compensación óptica habitual, carta para la medición de la Agudeza Visual Estática del Anillo-Disco Palomar, CSV 1000 (Vectorvision Inc, 1988) para medición de la función de sensibilidad al contraste, cartas para valoración cuantitativa de los movimientos sacádicos a 2 metros, Fotómetro Gossen Mavolux digital con medidor de luminancia para corregir las no-linealidades, 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 100 Hz.

El programa informático DinVA 3.0. (Ver apartados 1 y 2 del capítulo 5), que permite valorar la agudeza visual dinámica de dos formas posibles:

- Manteniendo constante el tamaño del estímulo y variando su velocidad (Series de tamaño).
- Manteniendo la velocidad de cada serie constante, y variando el tamaño del optotipo (Series de velocidad).

En el presente experimento, teniendo en cuenta experiencias previas no publicadas de la autora (Quevedo y Solé, 2000), y los resultados del estudio realizado para superar los 12 créditos de investigación del programa de doctorado *Percepció, Comunicació i Temps* del Departamento de Psicobiología de la Educación de la Universitat Autònoma de Barcelona (Quevedo, 2003b), se ha optado por la segunda opción, es decir, utilizando series de velocidad constante, donde va aumentando el tamaño del estímulo.

Estímulos

Como ya se ha explicado al describir el DinVA 3.0. en el apartado 5.2., se utilizó el anillo-disco universal de Palomar (Palomar, 1991) que puede presentarse con ocho posibles orientaciones, expresadas en términos de la *Rosa de los Vientos*, como N, S, E, W, NE, NW, SE y SW. Estos anillos se desplazan en tres distintas trayectorias de “ida y vuelta” (una horizontal, y dos diagonales). La luminancia del fondo de la pantalla era de 78 cd/m², y la de los estímulos de 0.1 cd/m², 23 cd/m², 60 cd/m², (siendo los promedios de 40, 50 y 68 respectivamente) según la condición experimental. Según la fórmula de Michelson (1927), esto nos da unos contrastes de $m_1 = 0.997$, $m_2 = 0.54$ y $m_3 = 0.13$ respectivamente. [$m = (L_{\text{máx}} - L_{\text{mín}}) / (L_{\text{máx}} + L_{\text{mín}})$].



Figura 6.1.1. Optotipos de Palomar con Contraste 1 (0.997), Contraste 2 (0.54) y Contraste 3 (0,13).

Instalaciones

Laboratorio de Contactología (EUOOT). Iluminación ambiental de 80 lux.

PROCEDIMIENTO

Determinación de la agudeza visual dinámica:

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.

Secuencia experimental:

El participante u observador se sentaba ante el teclado, situado primero a 5 metros y, posteriormente, a 2 metros de la pantalla del ordenador, con la mano preferida sobre el teclado numérico.

Tras presentar las instrucciones oralmente (Ver Anexo 1.1.a) y la realización de un entrenamiento en la tarea, consistente en la ejecución de una serie de 10 exposiciones, para familiarizarse con el test y el instrumento, 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 una velocidad predeterminada. 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).

El estímulo se desplazaba a distintas velocidades (1.43, 8.58 y 14.1°/seg.) que aparecían al azar, describiendo distintas trayectorias en la pantalla (horizontal o a 180° y dos diagonales, a 45 y 135° respectivamente), y presentando distintos contrastes sobre el fondo blanco de la pantalla (estímulos negro, gris oscuro, y gris muy claro) (Figura 6.1.1.).

La duración total de la prueba fue de entre 40 y 50 minutos.

Estructura de la prueba:

Dado que el objetivo experimental que pretendíamos era verificar la posible influencia de tres factores (contraste, velocidad y trayectoria) con diferentes niveles, se aplicaron al observador diez bloques o repeticiones en los que se combinaron, aleatoriamente, dichos factores. Por ello, el diseño experimental puede expresarse formalmente como:

3 (contrastes) x 3 (velocidades) x 3 (trayectorias) x 10 (repeticiones) = 270 ensayos.

Como variables independientes se utilizaron:

El *contraste figura-fondo* del optotipo con tres niveles (máximo, medio y bajo, equivalentes a 0.997, 0.54 y 0.13), verificados mediante medición fotométrica, tres *trayectorias* (horizontal o a 180°, diagonal izquierda y diagonal derecha correspondientes a 45° y 135° respectivamente) y tres *velocidades* (0.503, 0.302 y 0.05 m/s).

Como variable dependiente se midió la *Agudeza Visual Dinámica* definida, operacionalmente, como máxima resolución espacial detectable con el mínimo tamaño (y tiempo) de un estímulo en movimiento.

Con todo ello se analizaron los efectos principales e interacciones de primer y segundo orden de los factores contraste (m), velocidad (v) y trayectoria (t).

Adicionalmente, para estudiar la relación de la AVD con el género, realizamos un diseño de dos grupos (varones y mujeres).

La ficha con la secuencia de ejecución seguida en el test se expone en el Anexo 1.1.

DISEÑO ESTADÍSTICO

Con el fin de interpretar los resultados obtenidos se ha realizado un estudio estadístico en el que se determinó:

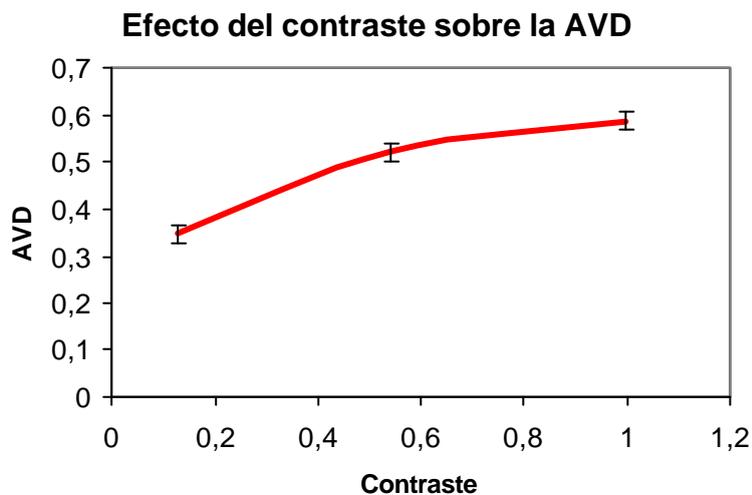
1. Análisis de varianza univariante, para establecer la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los valores de AVD obtenidos en las distintas condiciones de contraste, trayectoria y velocidad, y valoración de posibles interacciones entre ellas.
2. Prueba *t de Student*, para realizar comparaciones múltiples a posteriori y determinar las posibles diferencias entre determinados niveles de contraste, trayectoria y velocidad en la AVD.
3. Coeficiente de correlación de *Pearson* para estudiar la relación entre agudeza visual estática y dinámica a 5 m (velocidad de 5,74°/seg).
4. Prueba *t de Student* para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre la AVD de hombres y mujeres.

5. Coeficiente de correlación de *Pearson* para estudiar la relación entre AVD y FSC.

RESULTADOS

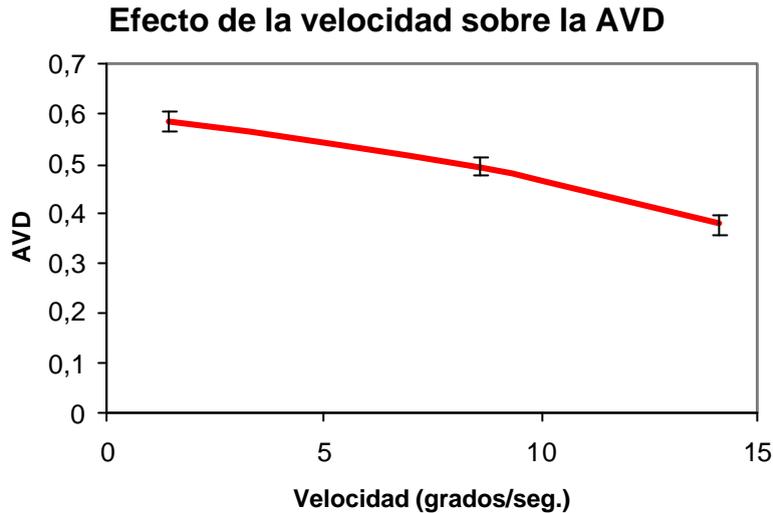
Con referencia al ANOVA que estudia la relación entre los factores velocidad, contraste y trayectoria, se revelan como significativos los efectos principales de las variables contraste [F (2,64) =266,27 (p<0.001)], velocidad [F(2,64) =172,87; (p<0.001)] y trayectoria [F (2,64)=9,7; (p<0.001)].

Para la variable contraste encontramos una relación directa, de forma que la AVD aumenta con el contraste (Gráfica 6.1.1). Así, es mayor cuando el contraste es alto (AVD=0,588; SD=0,016), y va disminuyendo cuando el contraste es medio (AVD=0,521; SD=0,017) o bajo (AVD= 0,348; SD=0,012).



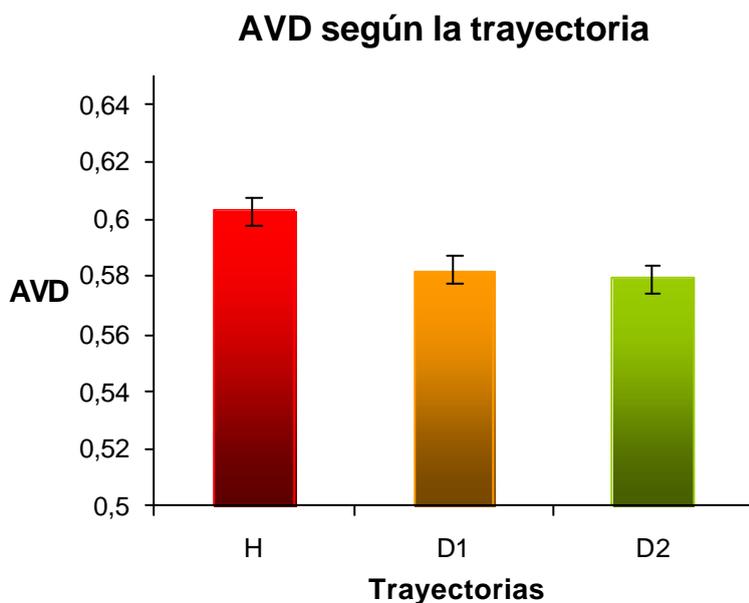
Gráfica 6.1.1. Variación de la agudeza visual dinámica en función del contraste utilizado.

Por otro lado, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la AVD y la velocidad mantienen una clara relación inversa. Así, con la máxima velocidad (0,503 m/seg o 14,1°/seg) se obtiene la menor AVD (X=0,377; SD=0,015), mientras que con la velocidad media (0,302m/seg o 8,58 °/seg) conseguimos la AVD media (X=0,496; SD=0,014), y con la velocidad más baja (0,05 m/seg o 1,43°/seg), se obtiene la mayor AVD (X=0,584; SD=0,017). (Gráfica 6.1.2.)



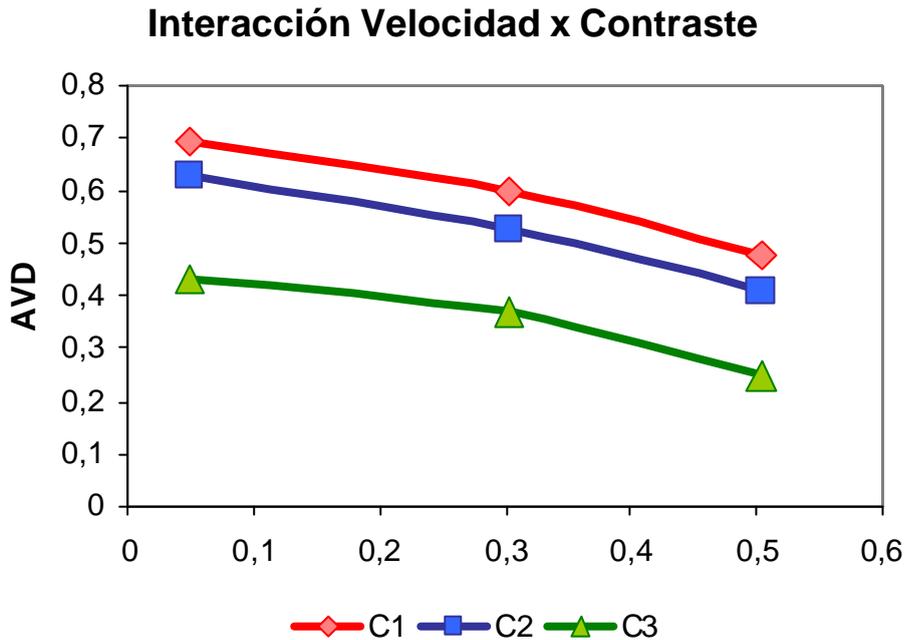
Gráfica 6.1.2. Variación de la agudeza visual dinámica en función de la velocidad de desplazamiento.

Así mismo, como ya hemos dicho, se evidencia como estadísticamente significativo el efecto de la trayectoria [$F(2,64)=9,7$; $p<0.001$], siendo superior la AVD alcanzada en la trayectoria horizontal ($X=0,603$; $SD=0,1$), que en la diagonal principal ($AVD=0,5822$; $SD=0,098$) o la diagonal secundaria ($AVD=0,5794$; $SD=0,094$).



Gráfica 6.1.3. Comparación de la AVD obtenida en las tres trayectorias, donde se evidencia la superioridad de la horizontal (H:horizontal, D1:diagonal principal, D2:diagonal secundaria).

Por otro lado, el Análisis de Varianza Univariado nos ha permitido constatar que existen interacciones de primer orden entre las variables contraste y velocidad [$F(4,128)=2,54$; $p<0.043$], lo que indica que la velocidad viene modulada por el contraste. Es decir, para cada condición de velocidad, la AVD varía según el nivel de contraste, por ello, aunque la AVD aumenta al disminuir la velocidad lo hace de forma distinta según el contraste.



Gráfica 6.1.4. Los valores de AVD para cada valor de la variable velocidad dependen del valor de la variable contraste. (C1:contraste alto, C2:contraste medio, C3:contraste bajo).

Sin embargo, como vemos en la tabla 6.1.1. no se dan efectos interactivos de segundo orden. Estos resultados, tomados globalmente, indican que excepto la velocidad y el contraste, el resto de factores analizados son independientes en sus efectos sobre la AVD.

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS TIPO III	gl	MEDIA CUADRÁTICA	F	SIGNIFICACIÓN
Contras	9,124599	2	4,5623	266,275	9,49E-32
Error(contras)	1,096562	64	0,017134		
Trayec	0,086293	2	0,043147	9,703699	0,000209
Error(trayec)	0,28457	64	0,004446		
Veloc	6,459413	2	3,229707	172,8735	1,57E-26
Error(veloc)	1,195679	64	0,018682		
Contras * trayec	0,001799	4	0,00045	0,108138	0,979496
Error(contras*trayec)	0,532251	128	0,004158		
contras * veloc	0,057825	4	0,014456	2,54042	0,042959
Error(contras*veloc)	0,728383	128	0,00569		
Trayec * veloc	0,009981	4	0,002495	0,663043	0,618791
Error(trayec*veloc)	0,481728	128	0,003764		
contras * trayec * veloc	0,023724	8	0,002965	0,655158	0,730679
Error(contras*trayec*veloc)	1,158745	256	0,004526		

Tabla 6.1.1. Resultados del ANOVA para el diseño: 3(contrastes) x 3(trayectorias) x 3 (velocidades)

Contrastes a posteriori usando la prueba estadística *t de Student*, pusieron de manifiesto la existencia de diferencias estadísticamente significativas en todas las combinaciones de niveles de velocidad con niveles de contraste.

Velocidad 1	
Contrastes 1 y 2	[t(32)=5,41;p<0.001]
Contrastes 1 y 3	[t(32)=13,16;p<0.001]
Contrastes 2 y 3	[t(32)=8,41;p<0.001]
Velocidad 2	
Contrastes 1 y 2	[t(32)=6,8 ;p<0.001]
Contrastes 1 y 3	[t(32)=15,19;p<0.001]
Contrastes 2 y 3	[t(32)=12,83;p<0.001]
Velocidad 3	
Contrastes 1 y 2	[t(32)=4,89 ;p<0.001]
Contrastes 1 y 3	[t(32)=21,7;p<0.001]
Contrastes 2 y 3	[t(32)=20,56;p<0.001]

Tabla 6.1.2. Contrastes a posteriori entre niveles de velocidad y contraste.

En lo referente a la relación existente entre la AVD y el tipo de trayectoria utilizada, la prueba *t de Student*, evidenció la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre la AVD medida en la trayectoria horizontal con respecto a los valores en las trayectorias diagonales.

Así, para trayectoria horizontal y diagonal principal obtuvimos [t(32)=2,467; p<0,05] y para trayectoria horizontal y diagonal secundaria [t(32)=2,291; p<0,05]. Por último constatamos que entre las dos trayectorias diagonales no existían diferencias estadísticamente significativas [t(32)=0.27;p=0.787].

Centrándonos en las diferencias individuales según la variable género, la comparación de medias, según la prueba *t de Student*, puso de manifiesto la no existencia de diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres, aunque se observa una tendencia ligerísimamente superior en la AVD de los hombres (X=0,488; SD=0,019) que la de las mujeres (X=0,483; SD=0,02).

Al comparar la AVD con la agudeza visual estática en toda la muestra, el coeficiente de correlación de *Pearson* evidenció la existencia de una correlación del 0,64 entre ambas variables determinadas a 5 metros. Únicamente se han utilizado los valores de AVD obtenidos a 5 metros (velocidad de 5.74°/seg.), para garantizar la comparabilidad, eliminando las claves oculomotrices (acomodación y convergencia) presentes en las medidas de AVD tomadas a 2 metros.

Adicionalmente, la correlación obtenida entre las variables AVD en la condición de máximo contraste y la función de sensibilidad al contraste (FSC) resulta muy baja (0,14). Sin embargo, esta correlación aumenta considerablemente si tomamos los valores de AVD determinada con el estímulo de mínimo contraste (0,43).

Por último, en otro orden de valoración, y con el objetivo de orientar futuras investigaciones, el análisis de los datos de un cuestionario post-experimental sobre las apreciaciones subjetivas de los participantes puede resumirse en:

1. Todos los participantes afirmaron que les había resultado más difícil realizar el test en la situación de bajo contraste.
2. El 82% de los sujetos reconoció que la tarea resultaba más difícil en las trayectorias diagonales, mientras que el resto (5 observadores) opinaron que el nivel de dificultad era igual en cualquier trayectoria.
3. La totalidad de individuos reconocieron que resultaba más difícil “seguir” el estímulo en la condición de mayor velocidad de desplazamiento.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

El análisis de los resultados de este experimento sugiere que el DinVA 3.0. puede constituir un instrumento eficiente para evaluar la agudeza visual dinámica. Esto es así, por el hecho de que los datos obtenidos son, en general, consistentes con el concepto que sustenta la noción de agudeza visual dinámica y los datos hallados a este respecto en la bibliografía especializada, avalando en último término la validez de constructo del test.

Así, hemos constatado que el contraste mejora la agudeza visual dinámica mientras que la velocidad la deteriora, y que en los desplazamientos horizontales se obtienen valores de agudeza visual dinámica superiores a los que se consiguen en las trayectorias diagonales del objeto. Este último dato viene a corroborar los resultados aportados por otros estudios, como el de Gesell et al, 1950. Estos autores defienden que la discriminación de un objeto que se desplaza en diagonal suele resultar más difícil que si lo hace horizontalmente, dado que los movimientos oculares necesarios en esas acciones son más complejos y, a nivel ontogenético, se adquieren más tarde.

Por otro lado, los resultados encontrados en este estudio vienen a rebatir los datos ofrecidos por los distintos trabajos que abogan por una superioridad de los hombres con respecto a las mujeres, en lo que respecta a la AVD (Burg y Hulbert, 1961; Ishigaki y Miyao, 1994; Long y Jonson, 1996). Nuestra explicación para la ausencia de diferencias estadísticamente significativas en cuanto al género, se basaría en las explicaciones de Ishigaki y Yoshii (www.descente.co.jp/ishimoto/22) cuando apuntaban factores sociales y culturales como responsables de la superioridad de los varones. Acogiéndonos a estas razones y considerando que uno de los criterios más importantes para la selección de la muestra era la no realización de deporte alguno y el no haber estado nunca federado, es fácil asumir que con este requisito hemos anulado las posibles diferencias entre hombres y mujeres que indican que, en general, los primeros son físicamente más activos. Por ello, al estudiar la AVD de estos estudiantes totalmente sedentarios, con hábitos de participación en el deporte muy homogéneos, no resulta extraño comprobar que las diferencias de AVD

entre géneros tiendan a desaparecer. Ello sugeriría, en la línea de los resultados aportados por autores como Long y Riggs (1991), Long y Rourke (1989), o Ludvigh y Miller (1958), que esta habilidad visual es susceptible de mejorar con la práctica repetida.

La correlación obtenida entre AVE y AVD a 5 metros (5,74°/seg) es de 0,64. Este valor concuerda con los datos que ofrece la literatura especializada, donde diversos autores informan de correlaciones similares hasta los 30-60°/seg., a partir de los cuales, la correlación disminuye notablemente (Fergenson y Suzansky, 1973; Hulbert et al, 1958; Long y Penn, 1987).

Por su parte, la correlación obtenida para las variables AVD (con máximo contraste) y FSC resulta muy baja (14%). Sin embargo, esta correlación aumenta considerablemente si tomamos los valores de AVD determinada con el optotipo de mínimo contraste (43%). Este resultado parece bastante previsible si consideramos que con el test de la FSC estamos valorando la capacidad de detectar pequeñas diferencias en intensidades de gris, y que esta habilidad, sin duda, guardará mayor relación con el rendimiento en la detección de detalles de un objeto en movimiento (AVD) gris, que uno negro.

Adicionalmente, es necesario remarcar que al margen de estas conclusiones generales, obtenidas en el intento de comparar los valores de AVD encontrados con el DinVA con los de los otros trabajos científicos, constatamos la dificultad que ello conlleva, dado que existe un amplio rango de variaciones en el diseño de los estudios, aparatos y técnicas de medida, condiciones estimulares y contextuales, muestras de sujetos y métodos psicofísicos en general, utilizados por los distintos investigadores. De ahí la necesidad de estandarizar una prueba o procedimiento de valoración que permita contrastar las diversas condiciones experimentales.

Por último, y dado que el objetivo era verificar la validez de constructo del programa DinVA, a la vista de los resultados obtenidos, podemos concluir que éste instrumento de medida constituye una herramienta útil y eficiente para evaluar la agudeza visual dinámica, y que puede ser susceptible de aplicación

a otras condiciones visuales tales como las que se dan en el ámbito de la conducción de vehículos y seguridad viaria.

6.2. Determinación de la consistencia interna del test DinVA 3.0.

INTRODUCCIÓN

Para legitimar un test, la fiabilidad (o confiabilidad) constituye uno de requisitos más importantes que se deben exigir a un buen instrumento de medida.

El objetivo del presente estudio se concreta en la determinación de la fiabilidad o consistencia interna del DinVA 3.0.

La fiabilidad es sinónimo de precisión y consistencia de medida, y se refiere al grado en que pueden reproducirse los resultados obtenidos por un procedimiento de medición en las mismas condiciones, es decir, cuando no existen razones teóricas ni empíricas para suponer que la variable a medir haya sido modificada diferencialmente para los sujetos, por lo que se asume su estabilidad, mientras no se demuestre lo contrario (Muñiz, 1992).

Para evaluar la fiabilidad: se suelen emplear tres métodos.

1. Test-retest
2. Consistencia intra e íter observador
3. Consistencia interna

La fiabilidad Test-retest o consistencia temporal del test DinVA será estudiada en el siguiente apartado (6.3.), mediante el tercer experimento presentado en esta tesis.

La fiabilidad entendida como consistencia intra observador se refiere al grado de concordancia de un observador consigo mismo en diferentes momentos.

Por consistencia íter observador se entiende la concordancia entre dos observadores independientes sobre una medida aplicada a un mismo individuo.

La objetividad aportada por un instrumento de medición con soporte informático y el hecho de leer y dar las instrucciones de realización del test siempre por escrito, hace innecesario el estudio de este tipo de fiabilidad.

Finalmente, en el caso particular de este estudio nos centramos en la **fiabilidad** o **consistencia interna**, que hace referencia a la estabilidad de las medidas entre las diferentes partes del instrumento de medición. La extensión de este concepto lleva a considerar la fiabilidad interna como una medida de homogeneidad. Si las distintas versiones de un test pretenden medir un mismo constructo (en este caso la AVD) es esperable que los resultados obtenidos estén relacionados entre sí. El método de las denominadas *Formas Paralelas* consistente en analizar la correlación entre las puntuaciones obtenidas en las dos versiones del test es el más recomendable (Muñiz, 1992), y en este estudio, dadas las características del DinVA 3.0., utilizaremos una variante que denominaremos pruebas *quasi-paralelas* o *supuestamente-equivalentes*.

En este punto, creemos conveniente realizar un breve análisis de los posibles procesos que subyacen a las dos versiones de nuestro test, siempre tomando como marco, el defendido desde la Teoría Multicanal (Campbell y Robson, 1968).

Así, en las Series de velocidad (*Speed Series*) evaluamos el aumento de tamaño del estímulo requerido para discriminar la orientación de la figura en función del transcurso del tiempo y manteniendo constante la velocidad.

Sin embargo, en las Series de Tamaño (*Size Series*) evaluamos la reducción de la velocidad requerida para discriminar la orientación de la figura en función del transcurso del tiempo y manteniendo constante el tamaño.

Lo que resulta obvio es que no es exactamente igual valorar en base al cambio por aumento de tamaño (juicio de frecuencia espacial) que en base al cambio por disminución de la velocidad (juicio de frecuencia temporal). Porque aunque es cierto que en ambos casos se hace un juicio espacial, en la versión *Speed*, para una velocidad constante, va cambiando el tamaño afectando a distintos

canales del procesamiento de la forma. Por contra, en la versión *Size*, para un tamaño determinado, va variando la velocidad afectando, en consecuencia, a distintos canales del procesamiento de la velocidad.

Las diferencias quedan establecidas considerando que, hasta la fecha, la Teoría Multicanal asume la existencia de entre 4 y 8 canales para el procesamiento de la forma, y tan solo dos para el procesamiento de la velocidad, concretamente los conocidos como *slowy fast* (Poggio y Reichardt, 1973).

Adicionalmente, desde un punto de vista anatomofisiológico, la forma se procesa en las áreas de la corteza visual V1 y V2, mientras que para el movimiento es el área V5 la más involucrada (Zeki, 1995).

Con todo ello, para determinar la consistencia interna del DinVA 3.0. estableceremos la correlación entre los resultados obtenidos al medir la AVD con dos versiones del test:

- Manteniendo constante el tamaño del estímulo y variando su velocidad (*Size Series*).
- Manteniendo constante la velocidad de cada serie, y variando el tamaño del optotipo (*Speed Series*).

Así mismo, basándonos en el diseño e implementación del test DinVA 3.0. (Véase apartados 5.1. y 5.2.) y en las experiencias y pruebas previas realizadas (Quevedo, 2003b), planteamos la hipótesis de que los valores de AVD determinados con las dos versiones descritas del test DinVA ofrecen una correlación alta.

METODO

Participantes

Diez estudiantes universitarios voluntarios (5 varones y 5 mujeres), con edades comprendidas entre 20 y 26 años ($X_{\text{edad}}=22,4$ $SD=2,01$). Refracción inferior a cinco dioptrías de miopía, con agudeza visual estática habitual mayor a 0.9 determinada con el Anillo Disco Universal de Palomar (Palomar 1991), FSC valorada dentro de la norma (Vectorvision Inc,) y movimientos oculares sacádicos y de seguimiento valorados dentro de la norma (SCCO 4 +, citado por Scheiman y Wick ,1996).

Materiales

Ficha con dato de compensación óptica habitual, carta para la medición de la Agudeza Visual Estática mediante el Anillo-Disco Palomar, Fotómetro Gossen Mavolux digital con medidor de luminancia para corregir las no-linealidades, 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 100 Hz. Programa informático DinVA 3.0. (Ver apartados 1 y 2 del capítulo 5), que permite valorar la agudeza visual dinámica de dos formas posibles:

1. Manteniendo constante el tamaño del estímulo y variando su velocidad de desplazamiento.
2. Manteniendo constante la velocidad de cada serie, y variando el tamaño del estímulo u optotipo.

En el presente experimento pretendemos medir la AVD utilizando ambas versiones.

Estímulo

Utilizaremos el anillo-disco universal de Palomar (Palomar, 1991) que puede presentar ocho posibles orientaciones, expresadas en términos de la *Rosa de*

los Vientos, como N, S, E, W, NE, NW, SE y SW. El estímulo describe una trayectoria horizontal de “ida y vuelta”. La luminancia del fondo de la pantalla es de 78 cd/m², y la del estímulos utilizado de 0.1 cd/m², que corresponde a un contraste de $m1 = 0.998$ (Michelson, 1927).

Instalaciones

Laboratorio de Contactología (EUOOT). Iluminación ambiental de 80 lux.

PROCEDIMIENTO

Se utilizará un paradigma experimental de detección con elección forzada entre 8 alternativas (para señalar la orientación del estímulo en movimiento) combinado con el método psicofísico de los límites modificado.

En la versión de Series de velocidad (*Speed Series*) el tamaño del estímulo aumenta hasta determinar únicamente el límite inferior de discriminabilidad de la orientación.

En el caso de las series de tamaño (*Size Series*), la velocidad disminuye hasta que el sujeto pueda señalar la orientación del anillo.

En ambos casos, cada serie estará compuesta de diez presentaciones de los estímulos, en cada uno de los cuales el sujeto evaluado deberá indicar la orientación de la apertura del estímulo presionando la tecla correspondiente del teclado numérico.

Secuencia experimental:

El sujeto se sienta ante el teclado situado a 2 metros de la pantalla del ordenador con la mano preferida sobre el teclado numérico.

Tras leer las instrucciones y la realización de unos ensayos de prueba para familiarizarse con el test y el instrumento, se le pide que observe la pantalla en blanco.

- *Speed series*

El examinador presiona el ratón del ordenador y, acto seguido, se muestra el estímulo desplazándose por la pantalla. En ese instante empieza a controlarse el tiempo, cuyo transcurso implica un incremento en los sucesivos tamaños predeterminados del estímulo en una proporción de uno cada 2.3 segundos. Así, al principio, el estímulo es muy pequeño, pero va aumentando progresivamente de tamaño, hasta hacerse lo suficientemente grande como para que el sujeto pueda determinar hacia donde está orientado. En ese momento, el observador presionará la tecla correspondiente para que el programa registre el tiempo de respuesta que traducirá en agudeza visual dinámica, dado que se conoce la velocidad (constante y predefinida en cada serie), la distancia (2 metros) y el tamaño del estímulo (determinado por el tiempo de respuesta registrado).

- *Size series*

El examinador presiona el ratón del ordenador y acto seguido se muestra el estímulo desplazándose por la pantalla. En ese instante empieza a controlarse el tiempo que implica una disminución en las sucesivas velocidades de desplazamiento del estímulo. Así, al principio el estímulo se desplaza a velocidad máxima (0,503m/seg), que va disminuyendo progresivamente cada 2.3 segundos, hasta moverse a una velocidad suficientemente lenta como para que el sujeto pueda determinar hacia donde está orientada su apertura. En ese momento el observador presionará la tecla correspondiente para que el programa registre el tiempo de respuesta que traducirá en agudeza visual dinámica, dado que se conoce el tamaño (constante y predefinido), la distancia (2, 1.75, 1.50 y 1.25 metros) y la velocidad de desplazamiento del estímulo (determinada por el tiempo de respuesta registrado). En este punto, es importante destacar que a causa de las limitaciones del *hardware* (tamaño del

píxel), tuvimos que recurrir a escalar la distancia para interpolar tamaños. Así conseguimos por una parte reducir el número de estímulos excesivamente grandes que ocasionarían sin duda un efecto techo, y muy especialmente, disminuir los “saltos” entre el tamaño de los estímulos correspondientes a mayor agudeza visual.

Estructura de la prueba:

El diseño experimental puede expresarse formalmente como:

- *Speed Series*

En esta versión, como variables independientes utilizamos las 10 velocidades posibles (0,503; 0,452; 0,402; 0,352; 0,302; 0,251; 0,201; 0,151; 0,101 y 0,05 m/seg.) manteniendo fijos el contraste y la trayectoria.

Como variable dependiente registramos la agudeza visual dinámica (en términos de AV y velocidad) como máxima resolución espacial detectable con el mínimo tamaño (y tiempo) de un estímulo que se mueve a todas y cada una de las velocidades pre-determinadas.

10 (velocidades) x 1 (contraste) x 1 (trayectoria) x 10 (repeticiones) = 100 ensayos.

- *Size Series*

Como variables independientes utilizamos 10 tamaños correspondientes a las siguientes agudezas (0,964; 0,844*; 0,723**; 0,643; 0,603***; 0,482; 0,386; 0,321; 0,276; 0,241) manteniendo fijos el contraste y la trayectoria.

Los valores de agudeza visual marcados con uno, dos y tres asteriscos se obtuvieron situando a los observadores a 1.75, 1.50 y 1.25 metros respectivamente. El resto, como ya se ha explicado, corresponden a una distancia de 2 metros. (Tabla 6.2.1.).

Píxeles Optotipo	S píxel	S (mm)	D (mm)	AV
10	2	0.603	2000	0.964
10	2	0.603	1750	0.844
10	2	0.603	1500	0.723
15	3	0.905	2000	0.643
10	2	0.603	1250	0.603
20	4	1.207	2000	0.482
25	5	1.508	2000	0.386
30	6	1.810	2000	0.321
35	7	2122	2000	0.276
40	8	2413	2000	0.241

Tabla 6.2.1. Relación de tamaños y agudezas visuales correspondientes utilizados en este estudio.

Como variable dependiente se registró la Agudeza Visual Dinámica (en términos de AV y velocidad), definida operacionalmente como máxima velocidad a la que es posible detectar los distintos tamaños predeterminados del estímulo en movimiento.

10 (tamaños) x 1 (contraste) x 1 (trayectoria) x 10 (repeticiones) = 100 ensayos.

Se contrabalanceó el orden de aplicación de las pruebas. Es decir, la mitad de los participantes comenzaron con la serie de velocidad y la otra mitad por la serie de tamaño.

La ficha con la secuencia de realización del presente test se expone en el Anexo 1.2.

DISEÑO ESTADISTICO

Con el fin de verificar que los sujetos con puntuaciones altas en la serie *Speed* también las obtienen en la serie *Size*, seguimos la siguiente estrategia de análisis:

1. En primer lugar, para cada observador calculamos los estadísticos básicos de la evaluación de AV en cada velocidad (*Speed Serie*).
2. Posteriormente, para cada observador se calcularon los estadísticos básicos de las velocidades límite en cada resolución (*Size Serie*).
3. Se correlacionaron los promedios de las puntuaciones obtenidas para cada sujeto en la Serie *Speed* y la Serie *Size* mediante la utilización del coeficiente de correlación de *Pearson*.

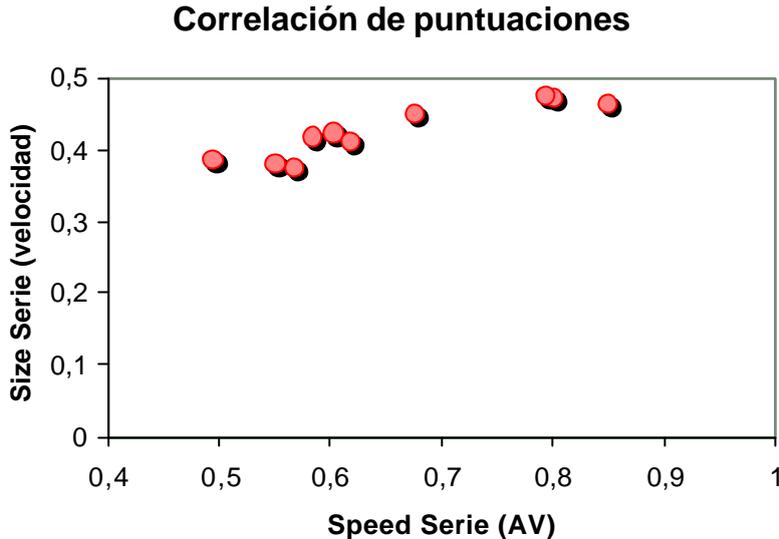
RESULTADOS

Los resultados obtenidos (Tabla 6.2.2.) ponen de manifiesto la existencia de una correlación alta, positiva y estadísticamente significativa entre los valores obtenidos por los diferentes observadores en las dos versiones del test. [$r_{xy}=0,92$; ($p<0.001$)].

<i>Speed Series</i>	<i>Size Series</i>
0,5509	0,38
0,4946	0,3848
0,6768	0,4476
0,8023	0,4725
0,568	0,3745
0,6044	0,4235
0,5857	0,4177
0,6189	0,4107
0,7947	0,4754
0,8499	0,4636

Tabla 6.2.2. Promedios de las puntuaciones de cada observador en las Series de Velocidad y Tamaño.

Esta relación queda representada en la gráfica 6.2.1. evidenciándose en la disposición alineada de los puntos.



Gráfica 6.2.1. Relación entre las puntuaciones obtenidas por los observadores en *Speed* y *Size Series*, representadas mediante diagrama de dispersión.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

En este experimento hemos valorado la consistencia interna del test analizando la correlación existente entre dos métodos que, en mayor o menor medida se utilizan (también en el DinVA 3.0.) para evaluar la AVD.

Como se ha explicado, la versión *Speed Series* coincide con el procedimiento tradicionalmente más empleado en investigación, que consiste en variar el tamaño del estímulo, mientras se mantiene la velocidad constante (Ludvigh y Miller, 1958; Shevlin, 1999) Por el contrario, en las *Size Series*, varía la velocidad del estímulo, mientras el tamaño permanece constante. Este último procedimiento ha tenido más repercusión a nivel clínico (Berman, 1993; Reichow y Coffey, 1992).

Existe un precedente de un estudio similar al que presentamos, realizado por Long y Johnson (1996) en el que proyectaban una C de Landolt en un espejo sobre una mesa giratoria con el objeto de comparar las puntuaciones de AVD obtenidas empleando las dos formas posibles de medición de esta habilidad. Las bajas correlaciones de los resultados hallados por estos autores les llevaron a concluir que aunque seguramente comparten procesos

neurofisiológicos subyacentes, las dos tareas no deben ser consideradas equivalentes.

Nuestros resultados, sin embargo, apuntan en la dirección opuesta, a juzgar por la alta correlación encontrada entre las medidas halladas en la aplicación de ambas versiones que evidencian que los observadores que obtienen mejor puntuación en las series de velocidad son también los mejores en las series de tamaño. Probablemente las razones de tal discrepancia de resultados sean de tipo metodológico, y la causa se encuentre en la diferencia de velocidades utilizadas (entre 60 y 120°/seg para Long et al, y entre 1.43 y 14.1°/seg en nuestro caso). De hecho, la mayor parte de los autores (Brown, 1972b; Hulbert et al, 1958; Prestrude, 1987) coinciden en afirmar que más allá de los 30-60°/seg, los mecanismos (movimientos oculares) que permiten la AVD varían totalmente, pasando de seguimientos, cuando se trata de velocidades de desplazamiento lentas, a sacádicos, para velocidades rápidas. Y, como es comúnmente aceptado, las diferencias neurofisiológicas y comportamentales llevan a establecer que seguimientos y sacádicos o bien son controlados por mecanismos neuronales independientes (Leigh y Zee, 1991), o bien constituyen distintas respuestas de una misma función senso-motora (Krauzlis, 2004). En cualquier caso parece absolutamente fundado considerar que la diferencia de velocidades con las que hemos trabajado en nuestro experimento y las utilizadas por Long justifique la disparidad de resultados obtenidos.

En consecuencia, a tenor de los resultados, podríamos inferir que si bien a altas velocidades (cuando median los movimientos oculares sacádicos) los dos procesos para medir la agudeza visual dinámica no resultan equivalentes, si lo parecen a bajas velocidades, cuando intervienen únicamente los movimientos de seguimiento.

Así, en el caso del DinVA 3.0., podemos concluir, no solo que estamos ante series concurrentes, comparables, y útiles para medir la agudeza visual dinámica, sino que también lo son ambos procedimientos de medición, y por tanto, que los procesos subyacentes, muy posiblemente sean equivalentes.

Con todo ello, en definitiva, damos un paso adelante para legitimar la consistencia interna del test DinVA 3.0. en lo que a la medición de la agudeza visual dinámica se refiere.

6.3. Determinación de la consistencia temporal del test DinVA 3.0.

INTRODUCCION

Ya hemos explicado que la fiabilidad también hace referencia al grado en que un test es consistente y estable internamente a la hora de medir aquello para lo que ha sido diseñado. De forma más simple, un test es fiable si es consistente consigo mismo (fiabilidad interna) y a través del tiempo (fiabilidad Test-retest).

En el caso particular de este estudio nos centramos en la fiabilidad Test-retest que hace referencia a la estabilidad temporal o reproductibilidad y tiene como objetivo determinar si una prueba dará los mismos resultados o similares (generalmente mediante correlación) cuando se aplica a una misma persona en más de una ocasión. Un problema que puede conllevar esta práctica, si el intervalo de tiempo entre la aplicación de las dos pruebas es breve, es que es posible que el resultado obtenido en la segunda ocasión esté influenciado por el aprendizaje obtenido la primera vez. Por ello defendemos la importancia de realizar de forma previa a la primera medición una exhaustiva explicación al sujeto de las instrucciones, y la ejecución de una prueba adecuada o práctica que le permita familiarizarse con el instrumento y el test.

En el contexto optométrico, esta estrategia es la que se utilizó para constatar la fiabilidad de un instrumento utilizado para la evaluación de la coordinación ojo-mano dinámica, denominado *Dyna Vision*, donde los autores (Klavora, Gaskovski y Forsyth, 1995), con el objeto de reducir los efectos del aprendizaje entre tiempos, establecen un intervalo de 2 semanas. Adicionalmente, para disminuir los efectos de la familiarización con el test, realizan una prueba previa consistente en ejecutar unas series de 30 segundos hasta obtener resultados estables.

Con todo ello, planteamos como objetivo principal de este estudio, la determinación de la consistencia temporal (fiabilidad test-retest) de la medición de la agudeza visual dinámica efectuada con el DinVA 3.0.

Adicionalmente también pretendemos valorar la eficacia de la prueba previa de familiarización del test (Ver anexo 1.1a), así como los posibles efectos residuales de aprendizaje de la tarea.

Por último, y en base a la objetividad y validez de nuestro instrumento, constatadas en los estudios previos presentados cabe esperar que la correlación entre los valores de agudeza visual dinámica obtenidos por el DinVA 3.0. en distintos intervalos temporales será moderada-alta.

METODO

Participantes

Los treinta y tres estudiantes universitarios (17 varones y 16 mujeres), con edades comprendidas entre 18 y 33 años ($X_{\text{edad}}=23,34$ $SD=3,92$), que voluntariamente participaron en el estudio donde se determinó la validez de constructo del test DinVA 3.0. (página 83).

Materiales

Los mismos que fueron utilizados en el estudio de la validez de constructo del DinVA 3.0.

Estímulos

Utilizamos el Anillo Disco Universal de Palomar (Palomar, 1991) que puede presentarse con ocho posibles orientaciones, expresadas en términos de la *Rosa de los Vientos*, como N, S, E, W, NE, NW, SE y SW. Estos estímulos se desplazaban en trayectoria horizontal de “ida y vuelta”. La luminancia del fondo

de la pantalla fué de 78 cd/m², y la de los anillos de 0.1 cd/m², es decir, en condiciones de máximo contraste.

Instalaciones

Laboratorio de Contactología (EUOOT), con una iluminación ambiental de 80 lux.

PROCEDIMIENTO

Análogo al utilizado en el estudio realizado para determinar la validez de constructo del test DinVA 3.0. (Apartado 6.1.)

Secuencia experimental:

La desarrollada en el estudio de la validez de constructo, con la salvedad que en esta ocasión, el anillo-disco se desplazó únicamente a dos velocidades (alta o de 0.503 m/seg. y baja, correspondiente a 0.05 m/seg.) que aparecen al azar, describiendo una trayectoria horizontal (de 0°) en la pantalla. El contraste del estímulo con el fondo de la pantalla fue el máximo posible.

La primera medición se registró entre los 7 y 15 días posteriores a la realización del estudio de la validez de constructo.

Entre 16 y 36 días más tarde se volvió a aplicar el mismo protocolo.

Estructura de la prueba:

El diseño experimental puede expresarse formalmente como:

$$2 \text{ (velocidades)} \times 10 \text{ (repeticiones)} = 20 \text{ ensayos}$$

Mantuvimos constante el contraste ($m=0.99$) y la trayectoria (horizontal).

Posteriormente a la realización de la primera sesión donde se tomaron los datos para desarrollar el estudio de la validez de constructo (t_1), se realizaron mediciones en dos momentos distintos (t_2 y t_3) separados entre sí por un intervalo temporal de entre 16 y 36 días para reducir los efectos del aprendizaje entre prueba y prueba. Como ya se ha mencionado en el estudio de la validez de constructo, para evitar en lo posible los efectos de la familiarización con el test y el instrumento se realizó una prueba previa o fase de entrenamiento en la tarea, consistente en 10 exposiciones de máximo contraste y trayectoria horizontal.

La ficha con la secuencia de ejecución empleada en el presente test se expone en el Anexo 1.3.

DISEÑO ESTADÍSTICO

Se realizaron los siguientes tests:

1. Coeficiente de correlación de *Pearson* de los valores de AVD obtenidos en t_1 , t_2 y t_3 .
2. *t* de *Student* para muestras relacionadas para comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de AVD obtenidos en las distintas mediciones y que podrían mostrar la influencia del aprendizaje en la realización del test.

RESULTADOS

Aunque los resultados son realmente muy parecidos vemos que para ambas velocidades ($V_1=0.503$ m/seg. y $V_3=0.05$ m/seg.) los valores son ligeramente superiores en los tiempos t_2 y t_3 con respecto a t_1 .

	Media	Desv. típ.	N
T1 V1	.48818	.091831	33
T1V3	.70015	.119276	33
T2V1	.50542	.085083	33
T2V3	.72533	.111887	33
T3V1	.50255	.088554	33
T3V3	.72139	.114703	33

Tabla 6.3.1. Estadísticos básicos de AVD obtenida en los distintos tiempos de medición.

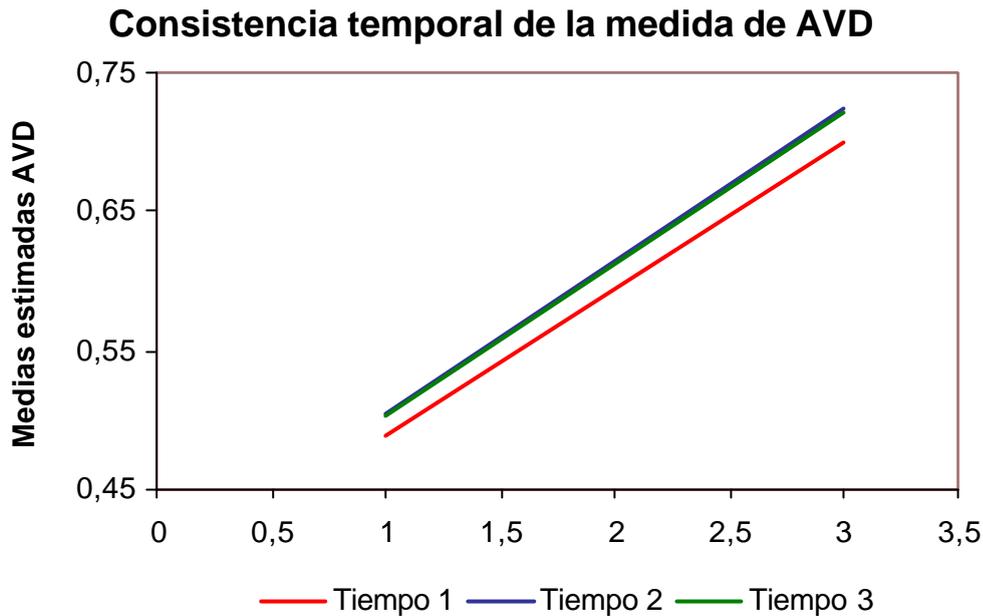
En todas las parejas de momentos temporales estudiados hallamos coeficientes de correlación altos:

V1	T1	T2	T3	V3	T1	T2	T3
T1	-	-	-	T1	-	-	-
T2	0,78	-	-	T2	0,72	-	-
T3	0,92	0,77	-	T3	0,84	0,85	-

Tabla 6.3.2. Matrices de correlaciones entre los tres momentos temporales estudiados.

La prueba *t* de *Student* evidencia que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de AVD obtenidos en los intervalos temporales t_1 , t_2 y t_3 . Esto es así, tanto para la velocidad máxima ($V1=14,1^{\circ}/\text{seg}$) como para la mínima ($V3=1,14^{\circ}/\text{seg}$).

Se estableció un nivel de confianza del 99%, dado que son valores muy estables y con alta consistencia intraindividual.



Gráfica 6.3.3. Consistencia de la medida de la AVD obtenida con el test DinVA 3.0. en los tres momentos temporales estudiados.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Si comparamos los resultados conseguidos en t_1 con los de t_2 y t_3 vemos que los últimos son ligeramente superiores para las dos velocidades presentadas. Esto puede deberse tanto a que la primera medida fué tomada en condiciones distintas (p.e. posible fatiga, menor conocimiento de la tarea dado que el orden de ejecución de las distintas condiciones en cuanto a contrastes y trayectorias era determinado al azar, y tanto podían ser realizados al principio como al final o durante la sesión) como a que haya un cierto efecto de aprendizaje que nos recomiende mejorar la prueba de familiarización con el test aumentando, por ejemplo, el número de series hasta conseguir estabilizar los resultados como recomiendan Klavara et al (1995).

Con referencia a las correlaciones halladas en los distintos tiempos de medida, vemos que, en general, son bastante altas. Esto nos indica que existe una relación importante entre los resultados obtenidos en las distintas mediciones llevadas a cabo en un tiempo medio de entre los 7 y 15 días posteriores a la realización del test, en el caso de T2 y entre 16 y 36 días para el caso de T3.

Por último, la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre las distintas mediciones evidencia, nuevamente, que las medidas son estadísticamente equivalentes.

Con todo ello, pensamos que queda legitimizada la consistencia temporal del test DinVA 3.0. para la medición de la AVD y, por tanto, acreditada la fiabilidad del instrumento de medida.

Aplicación del test DinVA 3.0.

7. Aplicación del test DinVA 3.0. como instrumento para la determinación de la agudeza visual dinámica.

7.1. Estudio diferencial sobre la agudeza visual dinámica de jugadores de waterpolo y estudiantes sedentarios

INTRODUCCION

Dentro del contexto de la optometría deportiva se defiende que los jugadores de elite que practican diversas modalidades deportivas gozan, en general, de habilidades visuales superiores a las de los jugadores de menor nivel de rendimiento y, especialmente, a las de la población sedentaria. (Brea et al, 1997; De Teresa, 1992; Solé et al, 1999).

En el caso concreto de la agudeza visual dinámica, también disponemos de estudios que avalan que los deportistas que practican sistemáticamente disciplinas donde esta habilidad visual se ve implicada (p.e. deportes de pelota) presentan mejores niveles de AVD (Beals et al, 1981; Millslagle, 2000; Melcher y Lund, 1992; Rouse et al, 1988).

Como se ha señalado (véase apartado 2 del capítulo 4), el debate comienza a partir del momento en que otros prestigiosos autores (Abernethy, 1986; Ludeke et al, 2003; Williams, Davids y Williams, 1999), con formación en el campo de la psicología del deporte y la educación física, presentan estudios que demuestran que no son habilidades visuales como la agudeza visual estática y dinámica o la visión periférica (entre otras), las que marcan las diferencias entre deportistas expertos, novatos y sedentarios, sino la forma como la información visual captada es procesada a nivel cognitivo. Así, según estos investigadores, liderados por Williams et al (1999) y defensores de la superioridad del *Software* visual frente al *Hardware*, los deportistas más hábiles son capaces de seleccionar y extraer información de las claves más relevantes, y organizarla e interpretarla de forma más rápida y eficaz, siendo estos aspectos cognitivos los que determinan las diferencias de rendimiento entre expertos y novatos (Ferreira, 2002).

El waterpolo es un deporte de equipo caracterizado por el constante cambio de posición de la pelota, compañeros y contrarios. Como en cualquier deporte de situación se hace imprescindible localizar y seguir continuamente la pelota, con el objeto de pararla, pasarla, interceptarla o lanzarla según se requiera en cada acción concreta.

Conscientes de la disparidad de criterios planteada en torno a la superioridad visual de los deportistas de elite con respecto a los de menor nivel de rendimiento y la población sedentaria, en el presente estudio nos propusimos determinar la validez predictiva del DinVA 3.0. como instrumento de medida de la agudeza visual dinámica. Para ello, comparamos la agudeza visual dinámica de los siguientes grupos:

- a. Jugadores de Waterpolo (Selección Nacional Masculina y Femenina) y Estudiantes de Óptica y Optometría con una actividad totalmente sedentaria.
- b. Jugadoras de Waterpolo de la Selección Nacional y jugadoras de la Selección Catalana.

Todo ello, con la intención de verificar las siguientes hipótesis:

1. La AVD de los jugadores de waterpolo será superior que la de los individuos sedentarios (Rouse et al, 1988; Tidow et al, 1987).
2. Existe relación entre el nivel de rendimiento deportivo y el resultado de AVD (Millslagle, 2000), en este caso, determinado con el test DinVA 3.0.

METODO

Participantes

1. Treinta estudiantes universitarios (15 varones y 15 mujeres) seleccionados al azar de entre los treinta y tres que tomaron parte en el estudio desarrollado para determinar la validez de constructo del test DinVA 3.0. ($X_{\text{edad}}=24.13$; $SD=4.7$).
2. Quince jugadores de la Selección Nacional masculina de Waterpolo participantes en el mundial 2005 y clasificados en la quinta posición. Con agudeza visual estática superior a 0.9, movimientos oculares de seguimiento y sacádicos, y función de sensibilidad al contraste valorados dentro de la norma. ($X_{\text{edad}}= 23.4$; $SD=2.54$).
3. Quince jugadoras de la Selección Nacional femenina de Waterpolo. Con agudeza visual estática superior a 0.9, movimientos oculares de seguimiento y sacádicos, y función de sensibilidad al contraste valorados dentro de la norma. ($X_{\text{edad}}= 21.06$; $SD= 2.54$).
4. Trece jugadoras de la Selección Catalana de Waterpolo femenino. ($X_{\text{edad}}= 16.69$; $SD= 1.18$).

Materiales

Los mismos que fueron utilizados en el estudio de la validez de constructo del DinVA 3.0.

Estímulo

El mismo usado en el estudio de la validez de constructo del DinVA 3.0.

Instalaciones

Laboratorio de Contactología (EUOOT). Iluminación ambiental de 80 lux.

Centro de Visión del Centro de Alto Rendimiento Deportivo de Sant Cugat del Vallés. Iluminación ambiental de 70 lux.

PROCEDIMIENTO

Análogo al utilizado en el estudio para determinar la validez de constructo del test DinVA 3.0.

Secuencia experimental:

La misma utilizada en el estudio de la validez de constructo del test DinVA 3.0., con la salvedad de que, para reducir el tiempo de ejecución de la prueba dada la menor disponibilidad de los deportistas, el estímulo se presentó únicamente a dos velocidades (alta, correspondiente a 0.503 m/seg. y baja, de 0.05 m/seg.) y con dos posibles contrastes con el fondo de la pantalla (máximo, utilizando en estímulo negro y bajo, con el estímulo u optotipo gris claro).

Estructura de la prueba:

Se sintetiza en el siguiente diseño experimental, el cual puede expresarse formalmente como:

2 (velocidades) x 2 (contrastos) x 3 trayectorias x 10 (repeticiones) = 120 ensayos.

De acuerdo con las hipótesis planteadas, intentamos verificar si existía relación entre la práctica del waterpolo y el nivel de rendimiento en esta disciplina deportiva con el valor de agudeza visual dinámica obtenido en la ejecución del test DinVA 3.0.

La ficha con la secuencia de ejecución del presente test se expone en el Anexo 1.4.

RESULTADOS

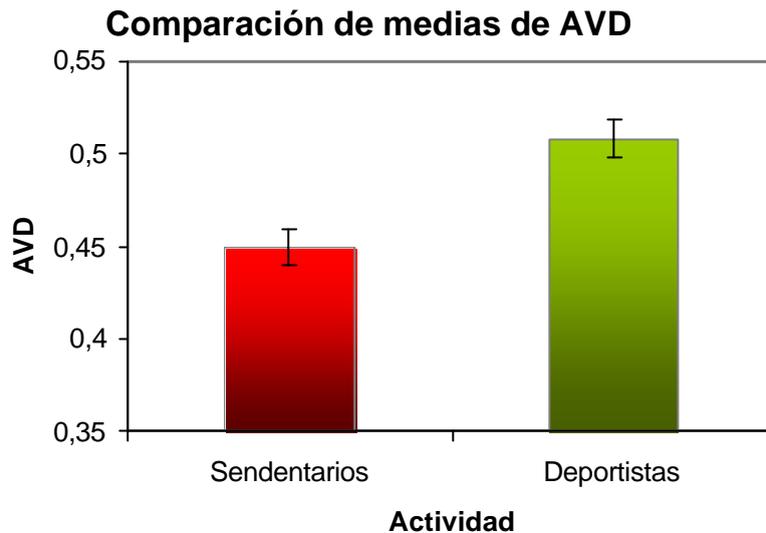
Presentamos los resultados de forma estructurada, de acuerdo con los objetivos planteados.

Así, en primer lugar, con el fin de estudiar las diferencias entre jugadores de waterpolo de elite y una muestra de estudiantes sedentarios, se aplicó una prueba de comparación de medias (ANOVA) entre los factores “actividad deportiva” (variable entre sujetos), “contraste” y “velocidad” (variables intra sujetos), con respecto a la AVD.

2 (velocidades) x 2 (contrastos) x 2 (actividad deportiva) → AVD

Los resultados del ANOVA revelaron que el efecto principal de la variable “actividad deportiva” fue significativo [$F(1,56)=3400.32;(p=0.001)$], confirmando que la AVD de los deportistas es globalmente superior a la de los sedentarios en todas las condiciones de velocidad y contraste.

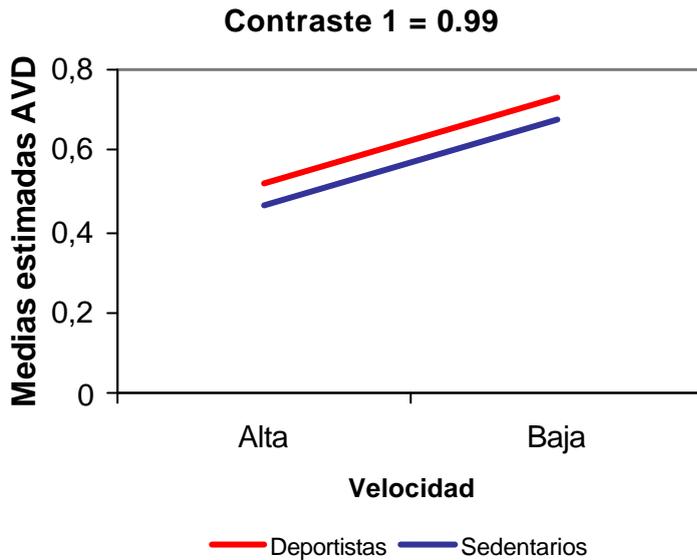
Es preciso señalar que respecto a este factor (actividad deportiva) no se observaron diferencias estadísticamente significativas en las interacciones de primer orden con las variables contraste y velocidad. Es decir, que el efecto de la variable actividad deportiva sobre la AVD es independiente de los valores en los otros factores (velocidad y contraste).



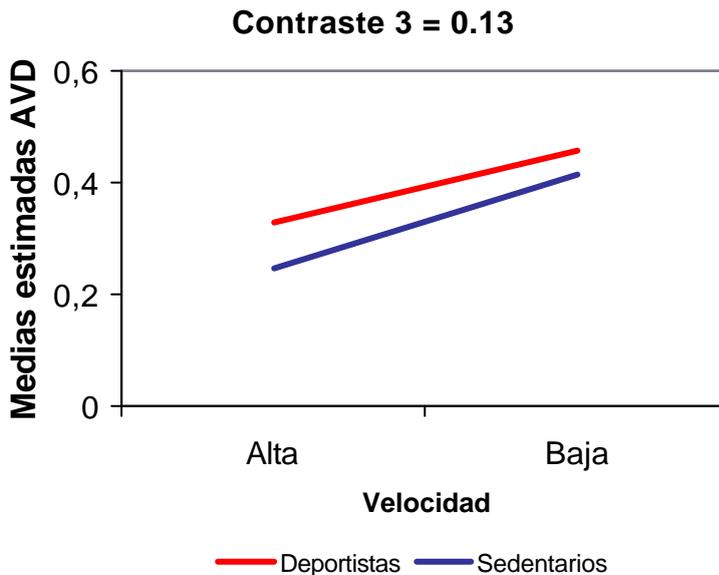
Gráfica 7.1. Comparación de resultados de AVD entre jugadores de waterpolo de elite y estudiantes sedentarios.

Adicionalmente, al examinar los datos de Jugadores de la Selección Nacional mediante un ANOVA, los efectos principales se revelaron significativos para las variables contraste [$F(1,56)=1227,35$; ($p<0.001$)], velocidad [$F(1,56)=492,1$; ($p<0.001$)] y trayectoria [$F(2,58)=9,148$; ($p<0.001$)]. Así mismo, también se constató que existían interacciones de primer orden entre las variables contraste y velocidad [$F(1,56)=32,161$; ($p<0.001$)], lo que mostraba, nuevamente, que la velocidad resulta modulada por el contraste. Estos datos coinciden con los registrados anteriormente para la muestra de sujetos sedentarios en el estudio de la validez de constructo de nuestro test (Véase apartado 6.1.), lo cual viene a aumentar la generalización de resultados obtenidos con el DinVA 3.0., al reproducirse el mismo patrón en la muestra de deportistas.

En las siguientes gráficas (7.2. y 7.3.) apreciamos la superioridad manifiesta de la AVD de los deportistas frente a los sedentarios en las diversas condiciones de contraste y velocidad estudiadas.



Gráfica 7.2. Comparación de la AVD entre deportistas y sedentarios en condiciones de máximo contraste del estímulo.



Gráfica 7.3. Comparación de la AVD entre deportistas y sedentarios en condiciones de menor contraste del estímulo.

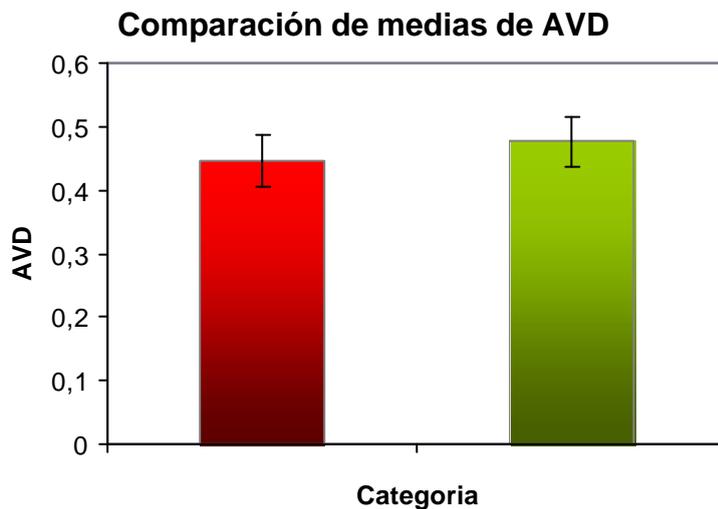
Por último, destacar que se excluyó la variable género por no revelarse como estadísticamente significativa [$F(1,56)=3400.32$; ($p=0.175$)].

Centrándonos en el segundo objetivo, con el fin de analizar las posibles diferencias según el nivel de rendimiento deportivo (jugadoras de waterpolo de

las selecciones catalana y española), aplicamos un ANOVA factorial mixto con dos variables intra sujetos (contraste y velocidad) y una ínter sujeto (nivel de rendimiento) que se sintetiza en la siguiente formulación de diseño experimental:

2 (velocidades) x 2 (contrastos) x 2 (niveles de rendimiento) → AVD

Los resultados mostraron que la variable “nivel de rendimiento” no alcanzó el nivel de significación establecido ($\alpha=0.05$). Igualmente, tampoco resultaron significativas las interacciones de este factor con los restantes (contraste y velocidad). Por tanto, debemos admitir que en la muestra estudiada, el nivel de rendimiento no conlleva diferencias en la AVD.



Gráfica 7.4. Comparación de resultados de AVD entre jugadoras de waterpolo de las selecciones catalana y española.

Adicionalmente, constatamos como significativos los efectos de las variables contraste [$F(1, 26)=497.98$; ($p<0.001$)] y velocidad [$F(1, 26)=497.98$; ($p<0.001$)], así como la existencia de interacciones de primer orden entre las variables contraste y velocidad [$F(1, 26)=49635$; ($p<0.001$)]. De nuevo se confirman los resultados obtenidos con estudiantes sedentarios en el estudio de la validez de constructo, y en este mismo experimento, con la muestra de waterpolistas de élite, viniendo en definitiva, y como ya hemos dicho, a fortalecer la generalización de los resultados.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Actualmente, y tal y como se ha señalado repetidamente en el capítulo dedicado a la Optometría especializada en el deporte y en la introducción de este propio experimento, existen autores (Abernethy, 1986; Williams et al, 1999) que defienden que las diferencias entre deportistas expertos y principiantes y/o sedentarios no radican en las habilidades visuales (*hardware*), entre las cuales se contaría la agudeza visual dinámica, sino en la forma de interpretar esa información visual, es decir en su procesamiento (*software*). Los resultados obtenidos en este experimento están, sin embargo, de acuerdo con los ofrecidos por aquellos autores que defienden la superioridad del sistema visual de los deportistas (De Teresa, 1992) y, en concreto, de la agudeza visual dinámica (Ishigaki y Miyao, 1993; Millslagle, 2000), habilidad que prestigiosos investigadores como Sanderson y Whiting (1978) y Millslagle (2001) relacionan específicamente con la destreza para interceptar una pelota.

Sin embargo, aunque nuestros resultados apoyen claramente la superioridad de los jugadores en la habilidad visual valorada, estos datos no permiten desvelar la incógnita sobre si los deportistas más destacados lo son gracias a unas excelentes capacidades innatas, o si es precisamente la participación sistemática en el deporte lo que conduce al desarrollo de éstas y otras habilidades. Esta cuestión también la plantean destacados investigadores en el campo de la optometría deportiva como Ludeke y Ferreira (2003) llegando a la conclusión que las habilidades no pueden ser simplemente heredadas, dado que, en cualquier caso suele requerirse de un largo y costoso periodo de aprendizaje, práctica y entrenamiento para alcanzar el máximo nivel, y que muy posiblemente el entorno, es decir, las exigencias visuales impuestas a los deportistas para poder desarrollar su disciplina deportiva, resulte un factor muy importante. A este respecto, para apoyar este razonamiento, hay que citar los estudios que se han realizado en el ámbito del entrenamiento visual, tanto en general (Birnbaum, 1994; Borrás, Sánchez y Ondategui, 1997; Cohen, 1988; Gallaway y Sheiman, 1997) como específicamente en el contexto deportivo (De Teresa, 1992; Fradua, 1993; Long et al, 1991; Quevedo y Solé, 1995) y que han permitido concluir que las habilidades visuales son susceptibles de mejora

al intervenir con un programa de ejercicios adecuados y con más razón aún, con las demandas impuestas por la ejecución diaria y sistemática de una tarea como es el control visual de una pelota y unos compañeros y contrincantes en continuo movimiento, respondiendo a situaciones complejas y en condiciones de déficit temporal. En definitiva, el problema de si la práctica repetida hace la función (la desarrolla y perfecciona), o la mayor capacidad innata produce individuos más eficientes es el clásico problema “*nature versus nurture*” (herencia frente ambiente, o innatismo frente aprendizaje y viceversa), que está omnipresente en la Psicología, y no es ajeno a la Optometría deportiva.

De cualquier forma, no resulta descabellado aceptar que el deporte suele requerir de sujetos con buenas habilidades visuales. Cuando un niño empieza a practicar un deporte su sistema visual aprende a seguir la pelota y predecir donde caerá. A medida que va creciendo y accediendo a distintos niveles de rendimiento, las demandas son mayores, la competición deviene más dura, y van quedando únicamente los mejores.

De nuevo, al no encontrar diferencias en cuanto al sexo, nos reafirmamos en la convicción de que la homogeneización de la educación y muy especialmente el hecho de que los jugadores de waterpolo, tanto chicos como chicas, desarrollen una misma actividad, con idénticas exigencias a nivel visual y con un mismo número de horas de entreno, tiende a anular las diferencias que otros autores (Farrimond, 1967; Ishigaki y Miyao, 1994; Millslagle, 2004) han constatado.

Tampoco hemos hallado diferencias en cuanto al nivel de rendimiento. Este resultado, en la línea del obtenido por Morris y Kreighbaum (1977) al comparar la AVD de jugadoras de baloncesto y voleibol de distintas categorías, vendría sin embargo, a contradecir a los investigadores que sí han podido establecer diferencias entre jugadores expertos y de bajo nivel (Kluka et al, 1995; Melcher y Lund, 1992; Millslagle, 2000).

Quizás nuestras muestras no respondan exactamente a esta diferenciación porque incluso en el caso de las jugadoras de la selección catalana estamos

hablando de deportistas de alto rendimiento que además entrenan idéntico número de horas que sus compañeras de la selección nacional. Si consideramos las medias de edades vemos que tampoco hay un salto suficientemente grande. Algunos autores (Ishigaki y Miyao, 1994) han informado que la AVD es una habilidad que mejora entre los 10 y 20 años y que a partir de ese momento empieza a disminuir lenta y progresivamente hasta aproximadamente después de los 50-60 años, edades en que declina de forma mucho más drástica (Wist, Schrauf y Ehrenstein, 2000). En este sentido, no nos queda más que reconocer que muy posiblemente, las pequeñas diferencias de edad (4 años) no sean suficientes como para plantear una comparación sobre etapas de evolución de la habilidad objeto de estudio, la agudeza visual dinámica.

A pesar de ello, y dado que nuestro instrumento de medida nos ha permitido verificar las diferencias entre sedentarios y deportistas a nivel de AVD (recordemos que con referencia a la AVE ambas muestras se encuentran por encima de la norma, considerándose como clínicamente equivalentes), podemos aceptar que puede predecir en cierta medida el rendimiento deportivo en el waterpolo. Es decir, según nuestros resultados la AVD resultaría superior a la AVE como parámetro para valorar el rendimiento visual en actividades, donde como en el caso del waterpolo, se requiere el control de un objeto en movimiento. De la misma forma, tampoco nos parece descabellado, generalizar esta afirmación a la mayor parte de deportes de pelota, que comparten características técnicas y tácticas con la disciplina estudiada. Evidentemente, hacemos estas afirmaciones con las debidas reservas dado que, siempre hay que tener presente que, en la excelencia deportiva existen múltiples capacidades para compensar una visión mediocre.

Conclusiones

8. Conclusiones

En cada uno de los estudios anteriormente presentados hemos detallado tanto la metodología seguida como los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta tesis. Asimismo, hemos expuesto las conclusiones extraídas. En el presente capítulo resumiremos las conclusiones más relevantes, agrupadas según los objetivos marcados.

8.1. Programa informático DinVA 3.0. para determinar la agudeza visual dinámica

Se ha diseñado e implementado en un programa informático un instrumento para determinar la agudeza visual dinámica.

Tal y como se ha demostrado mediante los diversos experimentos desarrollados, el DinVA 3.0. constituye una herramienta objetiva, válida y fiable que permite un cierto grado de predictibilidad del rendimiento deportivo en deportes de situación, resulta de fácil aplicación y no requiere de más infraestructura que algo tan común y presente en nuestra vida diaria como es un ordenador.

Complementariamente, por sus especiales características permite una medición bastante específica de la agudeza visual dinámica, según el contexto de aplicación, a la vez que ofrece la posibilidad de entrenamiento.

Así, considerando el vacío de instrumentos específicos, de probada validez y fiabilidad para medir la agudeza visual dinámica, la principal contribución de este trabajo radica en ofrecer y poner a disposición de los clínicos e investigadores un instrumento de medida de la agudeza visual dinámica estandarizado y tipificado.

Por último, y dado que la ciencia puede avanzar en tanto que puedan utilizarse medios que puedan garantizar la precisión de la medida, nos planteamos, a

partir de la presente tesis y mediante la utilización del programa informático DinVA 3.0., una serie de líneas generales de trabajo que enunciaremos a continuación:

- Análisis de los procesos básicos de la percepción del movimiento.
- Determinación de la agudeza visual dinámica en las diversas disciplinas deportivas (establecer modelos para cada deporte, relación con el nivel de rendimiento, posibilidades de entrenamiento, etc.).
- Estudio de la agudeza visual dinámica en el ámbito de la conducción y la seguridad vial (relación con el nivel de ejecución, cambios evolutivos, influencia de los factores ambientales, efectos de los niveles de fatiga física y mental, etc.).

8.2. Agudeza visual dinámica

Concordando con la mayor parte de los autores que han hecho aportaciones al respecto de esta habilidad visual, a partir de los resultados obtenidos en los diversos experimentos realizados en esta tesis, podemos concluir que:

- La velocidad del estímulo influye en la agudeza visual dinámica, de forma inversa. Es decir, a mayor velocidad de desplazamiento del estímulo, menor agudeza visual dinámica.
- Esta disminución de la agudeza visual dinámica al aumentar la velocidad del estímulo se manifiesta de forma más acusada en las trayectorias de desplazamiento del estímulo oblicuas que en las horizontales.
- El efecto de la velocidad del estímulo sobre la agudeza visual dinámica viene modulada por el contraste entre el estímulo y la luminancia del fondo de la pantalla sobre la que se desplaza. Concretamente, la disminución de la agudeza visual dinámica es más importante en las condiciones de bajo contraste.

- No hemos encontrado diferencias estadísticamente significativas ligadas al género. Esto es así tanto en la muestra de estudiantes sedentarios como en la de deportistas de elite.
- La correlación entre agudeza visual estática y dinámica (a una velocidad de desplazamiento del estímulo de 5.74 °/segundo) es del 64%.
- A velocidades de desplazamiento del estímulo bajas (inferiores a 20°/segundo) las dos tareas posibles para determinar la agudeza visual dinámica (juicio de frecuencia espacial y juicio de frecuencia temporal) son prácticamente equivalentes. Por ello, resulta plausible aceptar, que en estas condiciones, posiblemente exista un mismo mecanismo neurológico subyacente.
- La agudeza visual dinámica de los jugadores de waterpolo de la Selección Española es superior a la de una muestra de estudiantes sedentarios con similar agudeza visual estática. Esto podría sugerir que el entrenamiento de esta capacidad visual es efectivo.
- La agudeza visual dinámica resulta superior a la agudeza visual estática como parámetro para valorar el rendimiento visual, especialmente en actividades donde el movimiento está involucrado.
- La medición de la AVD tiene una aplicación importante en el deporte, ámbito desde donde se viene reivindicando repetidamente la necesidad de contar con un instrumento adecuado para evaluar esta habilidad visual de forma rutinaria.
- No hemos obtenido diferencias entre la agudeza visual dinámica de dos grupos de jugadoras de distinto nivel de rendimiento, aunque si encontramos diversos indicadores para apoyar que la práctica sistemática de un deporte como el waterpolo puede potenciar la AVD.

- La AVD parece ser un buen predictor del éxito en determinadas modalidades deportivas, especialmente en los deportes de equipo como el waterpolo donde es imprescindible controlar y responder con precisión a diversos estímulos en movimiento constante.
- La evaluación clínica de la AVD mediante un instrumento válido, fiable y de fácil aplicación constituiría, dentro del contexto deportivo en concreto, un elemento más a considerar en la detección de talentos, valoración de nuevos fichajes, y control de los propios jugadores, especialmente si están siguiendo algún tipo de programa de entrenamiento visual.
- La posibilidad de mejorar la AVD mediante un entrenamiento específicamente diseñado para ese fin hace imprescindible contar con un instrumento para determinar la línea base y valorar periódicamente la evolución de esta habilidad visual.

Referencias bibliográficas

9. Referencias Bibliográficas

A

Abel, O. (1924) Eye and baseball. *Western Optometry World*, 12 (1) 401-102.
Citado por: Ferreira, J.T. (2003) An overview of research in sports vision: its history and an optometric perspective. *S Afr Optom*, 62 (4), 142-149.

Abernethy, B. (1986) Enhancing sports performance through clinical and experimental optometry. *Clinical and Experimental Optometry*, 69 (5), 189-196.

Adrian, W. (2003) The effect of observation time and contrast on visual acuity. *Clinical and Experimental Optometry*, 86 (3), 179-182

Aguilar, M., Mateos, F. (1994) *Óptica Fisiológica*. Tomo 2. Universidad Politécnica de Valencia-Servicio de Publicaciones.

American Psychological Association. (1954). Technical recommendations for psychological tests and diagnostic techniques. *Psychological Bulletin*, 51 (2), 14-18.

American Psychological Association, American Educational Research Association, and National Council on Measurement in Education (1974). *Standards for educational and psychological test*. Washington, DC: American Psychological Association.

American Psychological Association, American Educational Research Association, and National Council on Measurement in Education (1985). *Standards for educational and psychological testing*. Washington, DC: American Psychological Association.

Anastasi, A. (1986) Evolving concepts for test validation. *Annual Review of Psychology*, 37, 1-15.

Ando, S., Kida, N., Oda, S. (2001) Central and peripheral visual reaction time of soccer players and nonathletes. *Perceptual and Motor Skills*, 92, 786-794.

Arranz de la Fuente, I. (2002) Iluminación de gabinetes optométricos. *Ver y Oír*, 167 (19), 503-510.

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

Artigas, J.M., Capilla, P., Felipe, A., Pujol, J. (1995) *Optica Fisiológica. Psicofísica de la Visión*. Madrid: McGraw-Hill. InterAmericana

Atchinson, D.A., Smith, G., Efron, N. (1979) The effect of pupil size on visual acuity and uncorrected miopía. *Am J Optom Physiol Opt*, 56, 315-323.

Aznar-Casanova, J.A. (1999) Percepción del Contraste: Procesamiento de Bajo Nivel. En: Munar, E., Rosselló, J. y Sánchez-Cabaco, A.(Eds). *Atención y Percepción* (p.267-300). Madrid: Alianza Editorial.

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

B

Banks, P.M., Moore, L.A., Liu, C., Wu, B. (2004) Dynamic visual acuity: a review. *S Afr Optom*, 63 (2), 58-64

Bannister, H.A., Blackburn, J.M. (1931) An eye factor affecting the proficiency at ball games. *British J Psychology*, 21, 382-384. Citado por Ferreira JT (2003) An overview of research in sports vision: its history and an optometric perspective. *S Afr Optom*, 63 (4), 142-149.

Bard, C., Fleury, M. (1976) Analysis of Visual Search Activity during Sport Problem Situations. *Journal of Human Movements Studies*, 3, 214-222.

- Bauscher, W. (1968) Vision and the athlete. *Optometry Weekly*, 59 (19), 21-25.
- Beals, R.P., Mayyasi, A.M., Templeton, A.E., Johnson, W.G. (1971) The relationship between basketball shooting performance and certain visual attributes. *American Journal of Optometry and the Archives of the American Academy of Optometry*, 48, 585-90.
- Beckerman, S.A., Hitzeman, S. (2001) The ocular characteristics of an athletic population. *Optometry*, 72, 498-509.
- Bennet, A.G., Rabbetts, R.G. (1992) *Clinical Visual Optics*. Oxford: Butterworths.
- Berman, A.M. (1993) Clinical Evaluation of the athlete. En: Classé, JG (Ed) *Sports Vision. Optometry Clinics* (p. 1-26). Norwalk: Appleton and Lange.
- Bergmanson, J.P.G., Sheldon, T.M. (1997) Ultraviolet radiation revisited. *CLAO Journal*, 23 (3), 196-204.
- Bergmanson, J.P.G., Soderberg, P.G. (1995) The significance of ultraviolet radiation for eye diseases. *Ophthalmic Physiological Optics*, 15 (2), 83-91.
- Billat, V. (2002) *Fisiología y metodología del entrenamiento*. Barcelona: Paidotribo.
- Birnbaum, M.H. (1994) Behavioral Optometry: a historical perspective. *Journal of American Optometric Association* (65) 4, 255-264.
- Blakemore, C., Campbell, F.W. (1969) On the existence of neurons in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of the retinal image. *Journal of Psychology*, 203, 237-260. Citado por Aznar-Casanova, J.A. (1999). Percepción del Contraste: Procesamiento de Bajo Nivel. En: Munar, E., Rosselló, J., Sánchez-Cabaco A. (Eds). *Atención y Percepción*. Madrid: Alianza Editorial.
- Borras, R., Sánchez, E., Ondategui, J.C. (1997) Eficacia de la terapia visual en jóvenes universitarios. *Gaceta Optica*, 310, 8-16.

Bowman, D.K., Hotson, J.R. (1992) Predictive smooth pursuit eye movements near abrupt changes in motion direction. *Vision Research*, 32, 675-690.

Brea, I., Rubiño, M., García, J.A. (1997) Evaluación y comparación de parámetros visuales de deportistas de distinto nivel respecto a la población normal. *Actas de las XII Jornadas Andaluzas sobre la Visión*. Córdoba: CNOO Andalucía.

Brown, B. (1972a) Dynamic Visual acuity, eye movements and peripheral acuity for moving targets. *Vision Research*, 12, 305-321.

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

Brown, B. (1975) Effects of alcohol and marihuana on DVA I: Tresholds measurements. *Perception and Psychophysics*, 18 (6), 441-446.

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

Burg, A. (1967) The relationship between vision tests scores and driving record. Report nº 67-24. Los Angeles: University of California, Department of Engineering. Citado en: Comitee on Vision of the National Research Council (1985) *Emergent Techniques for Assessment of Visual Performance*. Washington: National Academy Press.

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

Burg, A., Hulbert, SF. (1961) Dynamic visual acuity as related to age, sex and static acuity. *J Appl Psychol*, 45 (2), 111-116.

Burke, L. (1952) On the tunnel effect. *The Quarterly J of Experimental Psychology*, 4, 121-138.

Burton, K.B., Owsley, C., Sloane, M.E. (1993) Aging and neural spatial contrast sensitivity: photopic vision. *Vision Research*. 33 (7), 939-946.

Buys, H. (2002) *The development of norms and protocols in sports vision evaluation*. Dissertation MPhil. Faculty of Science: Rand Afrikaans University.

C- CH

Campbell, F.W., Maffei, L. (1981) The influence of spacial frequency and contrast on the perception of moving patterns. *Vision Research*, 21 (5), 713-721.

Campbell, F.W., Kulikowsky, J.J. (1966) Orientational selectivity of the human visual system. *Journal Physiological of London*, 187, 437-445. Citado por Aznar-Casanova, JA. (1999). Percepción del Contraste: Procesamiento de Bajo Nivel. En: Munar, E., Rosselló, J., Sánchez-Cabaco, A.(Eds). *Atención y Percepción* (p.267-300). Madrid: Alianza Editorial.

Campbell, F.W., Robson, J.G. (1968) Application of Fourier Analysis to the visibility of gratings. *Journal of Physiology*, 197, 551-566.

Carl, J.R., Gellman, R.S. (1987) Human smooth pursuit: Stimulus-dependent responses. *J Neurophysiol*, 57, 1446-1462.

Carpenter, R.H.S. (1988) *Movements of the eyes* (2nd ed.) London: Pion.

Cash, J. (1996) *The relationship of dynamic visual acuity to skill on a tennis-related task*. Dissertation. Chapell Hill: University of North Carolina.

Castet, E., Lorenceau, J., Shiffrar, M., Bonnet, C. (1993) Perceived speed of moving lines depends on orientation, length, speed and luminance. *Vision Research*, 33, 1921-1936.

Ciuffreda, KJ., Tannen, B. (1995) *Eye movements basics for the clinician*. St Louis: Mosby.

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

Cockerill, I.M., MacGillivray, W.W. (1981) *Vision and Sport*. Cheltenham: Stanley Thornes.

Coffey, B., Reichow, A.W. (1990) Optometric evaluation of the elite athlete. *Problems in Optometry*, 2, 33-58.

Coffey, B., Reichow, A.W. (1992) *Sports Vision Course*. Cervia: International Academy of Sports Vision.

Cohen, A.H. (1988) The efficacy of optometric vision therapy. *J Am Optom Ass* (59) 2, 95-105.

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

Cratty, B.J., Apitzsch, E., Bergel, R. (1973) *Dynamic Visual acuity: A developmental Study*. Unpublished Monograph, Los Angeles: Perceptual Motor Learning Laboratory, University of California.

Cullen, A.P. (1992) The Environment. En: *Clinical Contact Lens Practice*, Capítulo 72. J.B. Lippincott Company. Filadelfia, 1992.

Chevaleraud, J.P. (1986) *Ojo y Deporte*. Paris: Masson:

Christenson, G.N., Winkelstein, A.M. (1988) Visual skills of athletes versus non-athletes: development of a sports vision testing battery. *J Am Optom Assoc*, 59 (9), 666-675.

D

Daugman, J.G. (1984) Spatial visual channels in the Fourier plane. *Vision Research*, 24, 9, 891-910. Citado por Aznar-Casanova, J.A. (1999). Percepción del Contraste: Procesamiento de Bajo Nivel. En: Munar, E., Rosselló, J., Sánchez-Cabaco, A. (Eds). *Atención y Percepción* (p.267-300). Madrid: Alianza Editorial.

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

E

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

Edmunds, F.R. (2006) Athletic performance enhancement with chromatic aberration controlling contact lenses. Global Symposium on Vision Correction. Athens: Bausch and Lomb.

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

F

Farrimond, T. (1967) Visual and auditory performance variations with age: some implications. *Australian J Psychology*, 19 (3), 193-201.

Ferguenson, P.E., Suzansky, J.W. (1973) An investigation of dynamic and static visual acuity. *Perception*, 2 (3), 343-56.

Fernández-Velázquez, F.J. (1993) Resultado de una detección visual de futbolistas versus población normal. *Selección*, 2 (4) 193-203.

Ferreira, J.T. (2002) Sports Vision as a Hardware and Software system. *Eyesite*, July, pp.40.

Ferrera, V., Wilson, H. (1990) Perceived direction of moving two-dimensional patterns. *Vision Research*, 30, 273-287.

Fez, M.D., Capilla, P. (2004) La visión del movimiento (II). Fundamentos fisiológicos y modelos. *Ver y Oír*, 184 (21), 133-142.

Figge, B.R., Wist, E.R. (1996) Visual acuity based on motion contrast: the effect of luminance and luminance contrast reduction on binocular and monocular performance. *Perception*, 19 ECVF (Abstracts). *Optometry and Vision Science*, 70 (7).

Florido, M. (2003) Gafas solares y filtros de protección. En: *Libro blanco de la visión en España*. Ed: Campaña de Protección Ocular "Visión y Vida". Madrid: ICM.

Fradua, J.L. (1993) *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. Granada: Universidad de Granada.

Fullerton, C. (1925) Eye, ear, brain and muscle tests on Babe Ruth. *Western Optometry World*, 13 (4) 160-161. Citado por: Ferreira JT (2003) An overview of research in sports vision: its history and an optometric perspective. *S Afr Optom*, 62 (4), 142-149.

G

Gallaway, M., Scheiman, M. (1997) Efficacy of visual therapy in excess of convergence. *J Am Optom Ass* (68) 2, 81-86.

Garland, D.J., Barry, J.R. (1990) Sports expertise: the cognitive advantage. *Percept Mot Skills*, 70 (3), 1299-1314.

Garner, A.I. (1977) Visual aid prescribing for the athlete. *Calif Optom*, 3(6) 18-19. Citado por: Gregg JR. (1987) *Vision and Sports: An introduction*. Stoneham, MA: Butterworth Publishers.

Garner, A.I. (2000) The history of the International Academy of Sports Vision. *Sports Vision 2000 Conference Programme*, 1-5. Citado por: Ferreira, J.T. (2003) An overview of research in sports vision: its history and an optometric perspective. *S Afr Optom*, 63 (4), 142-149.

Geer, I., Robertson, K.M. (1993) Measurement of central and peripheral dynamic visual acuity thresholds during ocular pursuit of a moving target. *Optometry and Vision Science*, (70) 7, 552-560.

Gessell, A., Igs, F.L., Bullis, G.E. et al. (1950) *Vision: Its Development in Infant and Child*. New York: Paul B.Hoeber.

Gilman, G. (1988) *Behavioral Optometry*, Quincy, CA: Paradox Publishing.

Ginsburg, A.P. (1987) The evaluation of contact lenses and refractive surgery using contrast sensitivity. En: Dabezie, O.H., Ed. *Contact lenses. The CLAO guide to basic science and clinical practice*. New York: Grune & Stratton.

Ginsburg, A., Evans, D.W., Cannon, J.R. (1983) A new contrast sensitivity vision test chart. *Am J of Optom & Physiological Optics*, 61 (6), 403-407.

Graham, N., Nachmias, J. (1971) Detection of grating patterns containing two spatial frequencies: A comparison of single channel and multiple-channel models. *Vision Research*, 11, 251-259. Citado por Sierra-Vázquez, V. (1992). Procesamiento visual inicial: Aspectos biológicos, psicofísicos y computacionales del análisis espacial de imágenes por el sistema visual humano. Capítulo cinco. En: Mayor, J., Pinillos, J.L. (Eds.) *Atención y Percepción* (p.163-321). Madrid: Alambra Universidad.

Graham, N., Robson, J.G., Nachmias, J. (1978) Grating summation in fovea and periphery. *Vision Research*, 18, 815-825. Citado por Sierra-Vázquez, V. (1992). Procesamiento visual inicial: Aspectos biológicos, psicofísicos y computacionales del análisis espacial de imágenes por el sistema visual humano. Capítulo cinco. En: Mayor, J., Pinillos, J.L. (Eds.) *Atención y Percepción* (p.163-321). Madrid: Alambra Universidad.

Graybiel, A., Jokl, E., Trapp, C. (1955) Russian studies in vision in relation to physical activity and sports. *Research Quarterly*, 26, 212-223.

Gregg, J.R. (1987) *Vision and Sports: An introduction*. Boston: Butterworths.

Gresty, M.A., Leech, J. (1977) Coordination of the head and eyes in pursuit of predictable and random target motion. *Aviat Space Environ Med*, 48, 741:44. Citado por: Berthoz, A. (1985). *Adaptative mechanisms in gaze control. Facts and Theories*. London: Elsevier Science Publishers .

Guion, R.M. (1980) On trinitarian doctrines of validity. *Professional Psychology*, 11, 385-389.

H

Hazel, Ch. A. (1995) The efficacy of sports vision practice and its role in clinical optometry. *Clin Exp Optom*, 78 (3), 98-105.

Heape, S. (2005) *Investigation into Driver Dynamic visual abilities across age. A preliminary study.* (HEL/RSSB/041019a/RT2 Issue:03). Rail safety and Standards Board. (<http://www.rssb.co.uk/hfcp.asp>)

Henderson, R.L., Burg, A. (1973) *The role of vision and audition in truck and bus driving.* TM-(L)-5260/000/00. Santa Monica, California: Systems Development Corporation. Citado en: Comité on Vision of the National Research Council. (1985). *Emergent Techniques for Assessment of Visual Performance.* Washington: National Academy Press.

Hitzeman, S.A., Beckerman, S.A. (1993) What the literature says about sports vision. *Optom Clin*, 3 (1), 145-169.

Hoffman, L.G., Rouse, M., Ryan, J.B. (1981) Dynamic Visual acuity: A review. *Journal of the American Optometric Association*, 52, 883-87.

Hoffman, L.G., Polan, G., Powell, J. (1984) The relationship of contrast sensitivity function to sports vision, *Journal of the American Optometric Association*, 10 (55), 747-752.

Hulbert, S.F., Burg, A., Knoll, H.A., Mathewson, J.F. (1958) A preliminary study of dynamic visual acuity and its effects in motorists' vision. *Journal of the American Optometric Association*, 29, 359-364.

I-J

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

Ishigaki, H., Miyao, M. (1994) Implications for dynamic visual acuity with changes in age and sex. *Perceptual and Motor Skills*, 78 (2), 363-69.

Ishigaki H., Yoshii, I. Are individual differences in sport vision in childhood innate or resulting from experience in sport? (www.descente.co.jp/ishimoto/22).

Joseph, C., Saha, M., Selvamurthy, W. (1997) Post exercise changes in visual evoked potential measures and contrast sensitivity function. *Indian Journal of Aerospace Medicine*. 41 (2), 68-74

K

Kelly, D.H., Burbeck, C.A. (1984) Critical problems in spatial vision. *CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 10, 125-177. Citado por Sierra-Vázquez, V. (1992). Procesamiento visual inicial: Aspectos biológicos, psicofísicos y computacionales del análisis espacial de imágenes por el sistema visual humano. Capítulo cinco. En: Mayor, J., Pinillos, J.L. (Eds.) *Atención y Percepción* (p.163-321). Madrid: Alambra Universidad.

Kirshner, A.J. (1967) Dynamic visual Acuity: a quantitative measure of eye movements. *Journal of the American Optometric Association*, 38, 460-462.

Klavora, P., Gaskovski, P., Forsyth, M. (1995) Test-retest reliability of three Dynavision tasks. *Perceptual and Motor Skills*, 80, 607-610.

Kluka, D. (1990) The study of eye movements related to sport: a review of the literature. *Sports Vision*, 6, 24-32.

Kluka, D.A., Love, P., Sanet, R.B., Hillier, C., Stroops, S., Schneider, H. (1995) Contrast Sensivity function profiling: By sport and sport ability level. *International Journal of Sports Vision*, 1 (2), 5-16.

Knudson, D., Kluka, D.A. (1997) The impact of vision and vision training in sport performance. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*. April, 10-20.

Koch, D.D. (1989) Glare and contrast sensitivity for the clinician. *Ophthalmol Clin N Am* 1989; 2 (3), 415-29.

Kohl, P., Coffey B., Reichow, A., Thompson, W., Willer, P. (1991) Comparative study of visual performance in Jet fighter pilots and non-pilots. *Journal of Behavioral Optometry*, 5 (2), 123-126.

Kolstad, A., Opsahl, R. (1969) Cold injury to corneal epithelium. A cause of blurred vision in cross-country skiers. *Acta Oftalmológica*, 47, 656-9.

Krauzlis, R.J. (2004) Recasting the smooth pursuit eye movement system. *Journal of neurophysiology*, 91, 591-603.

Kulikowski, J.J., King-Smith, P.E. (1973) Spatial arrangement of line, edge and grating detectors revealed by sub-threshold summation. *Vision Research*, 13, 1455-1478. Citado por Aznar-Casanova, J.A. (1999). Percepción del Contraste: Procesamiento de Bajo Nivel. En: Munar, E., Rosselló, J., Sánchez-Cabaco A. (Eds). *Atención y Percepción* (p.267-300). Madrid: Alianza Editorial.

L

Lasky, D.I., Lasky, A.M. (1990) Stereoscopic eye exercises and visual acuity. *Perceptual and Motor skills*, 71, 1055-58.

Leigh, R.J., Zee, D.S. (1991) *The neurology of eye movements*. Philadelphia, PA: Davis.

Le Grand, Y. (1991) *Optica Fisiológica. Tomo I. El Ojo como Instrumento Óptico*. Madrid: Asociación de Amigos de las Escuelas de Optica.

Lieblein, J.S. (1986) The athlete's choice: contact lenses. *Contact Lens Spectrum*, 1 (9), 55-58.

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

Long, G.M., Garvey, P.M. (1988) The effects of target borders on dynamic visual acuity: Practical and theoretical implications. *Perception*, 17, 745-52.

Long, G.M., Homolka, J.L. (1992) Contrast sensitivity during horizontal visual pursuit: dynamic sensitivity functions. *Perception*, 21, 753-64.

Long, G.M., Johnson, D.M. (1996) A comparison between methods for assessing the resolution of moving targets (dynamic visual acuity). *Perception*, 25, 1389-99.

Long, G.M., Jones, M.D. (1993) The effects of smokeless tobacco and DVA. *Bulletin of the Psychonomic Soc*, 31 (6), 613-616.

Long, G.M., Kearns, D.E. (1996) Visibility of test and icon highway signs under dynamic viewing conditions. *Human Factors*, 38, 690-701.

Long, G.M., May, P.A. (1992) Dynamic visual acuity and contrast sensitivity for static flickered gratings in a college sample. *Optometry and Vision Science*, 69, 915-22.

Long, G.M., Penn, D.L. (1987) Dynamic Visual acuity: Normative functions and practical implications. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 25, 253-256.

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

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

Long, G.M., Vogel, Ch.A. (1998) Predicting the “where” and resolving the “what” of a moving target: A dichotomy of abilities. *Perception*, 27 (4), 379-91.

Long, G.M., Zavod, M.J. (2002) Contrast sensitivity in a dynamic environment: Effects of target conditions and visual impairment. *Human Factors*, 1 (44), 120-131.

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

Ludeke, A., Ferreira, J.T. (2003) The difference in visual skills between professional versus non-professional rugby players. *The South African Optometrist*, 62 (4), 150-58.

Ludvigh, E., Miller, J.W. (1954) *An analysis of dynamic visual acuity in a population of 200 Naval Aviation Cadets*. NSAM-568. Pensacola, Florida: Naval School of Aviation Medicine. Citado en Comité on Vision of the National Research Council. (1985). *Emergent Techniques for Assessment of Visual Performance*. Washington: National Academy Press.

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

M

Maffei, L., Fiorentini, F. (1973) The visual cortex as a spatial frequency analyser. *Vision Research*, 13, 1255-1267.

Maiche, A. (2002) *Tiempo de reacción visual al inicio del movimiento: Un estudio sobre la percepción de la velocidad*. Tesis doctoral. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de Psicologia.

Maiche, A., Moliner, J.L., Mateeff, S., Bonnet, C. (2001) The reaction time to motion onset is related to the perceived speed. *Perception*, 30, 65-66 (supplement).

Martin, W.F. (1970) What the coach should know about the vision of athletes. *Optom Wkly*, 61 (25) 538-560. Citado por: Martin, W.F.(1984) *An insight to sports featuring trapshooting and golf*. Seattle, WA: SportsVision, Inc.

Mashour, M. (1964) *Psychophysical relations in the perception of velocity*. Stockholm: Almqvist y Wiksell. Citado por Maiche, A. (2002). *Tiempo de reacción visual al inicio del movimiento: Un estudio sobre la percepción de la velocidad*. Tesis doctoral. Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de Psicologia.

Mayyasi, A.M., Beals, R.P., Templeton, A.E., Hale, P.N. (1971) The effects of ambient illumination and contrast on dynamic visual acuity. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*, 48 (10), 844-48.

McHugh, D.E., Bahill, A.T. (1985) Learning to track predictable target waveforms without a time delay. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 26, 932-941.

McKee, S., Westheimer, G. (1978) Improvement in vernier acuity with practice. *Perception and Psychophysics*, 24 (3), 258-62.

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

Messick, S. (1975) The standard problem: Meaning and values in measurement and evaluation. *American Psychologist*, 30, 955-966.

Michelson, A.A. (1927) *Studies in Optica*. Chicago: University of Chicago Press.

Miller, D. *Optics and refraction: A user-friendly guide*. En: Podos, S.M., Yanoff, M. (1994) *Textbook of Ophthalmology*. London: CV Mosby, 1 (7),14-24.

Miller, J.W. (1958) Study of visual acuity during the ocular pursuit of moving test objects. II: Effects of direction of movement, relative movement and illumination. *J Opt Soc Am*, 48 (11), 803-8.

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

Miller J.W., Ludvigh, E. (1963) The effects of relative motion on visual acuity. *Survey of Ophthalmology*, 7, 83-116.

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

Millsagle, D.G. (2001) Dynamic Visual Acuity and Coincidence-Anticipation timing in girls at the first and fifth grade. *Research Quaterly for Sport and Exercise*, March, Supplement.

Millsagle, D.G. (2004) Coincidence anticipation and dynamic visual acuity in young adolescents. *Perceptual and Motor Skills*, 99, 1147-1156.

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

Montés-Micó, R., Bueno, I., Candel, J., Pons, A. (2000) Eye-hand and eye-foot visual reaction times of young soccer players. *Optometry*, 12 (71), 1-12.

Morris, G.S., Kreighbaum, E. (1977) Dynamic visual acuity of varsity women volleyball and basketball players. *Research Quarterly*, 48, 2, 480-83.

Morrison, T.R. (1980) *A review of dynamic visual acuity*. NAMRL Monograph-28. Pensacola, FL: Naval Aerospace Medical Research Laboratory.

Muñíz, J. (1992) *Teoría Clásica de los Tests*. Madrid: Pirámide.

N

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

O-P

Olivera, J. (1993) Reflexions sobre l'origen de l'esport. *Apunts Educació Física i Esport*, (33), 12-17.

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

Pelli, D.G., Robson, J.G., Wilkins, A.J. (1988) The desing of a new letter chart ofr measuring contrast sensitivity. *Clinical Vision Science*, 2, 187-199. Citado por Long, G.M., Zavod, M.J. (2002). Contrast sensitivity in a dynamic environment: Effects of target conditions and visual impairment. *Human Factors*, 1, (44), 120-131.

Perrine, M.W. (1974) Alcohol influences on driving-related behaviour. *J of safety Research*, 5 (3) 165-184

Poggio, T.; Reichardt, W. (1973) Considerations on models of movements detection. *Kybernetik*, 13, 223-227.

Prager, T. (1990) Essential factors in testing for glare. En: Nadler, M.P., Miller, D., Nadler. D.J. (Eds). *Glare and contrast sensitivity for clinicians*. New York:Springer-Verlag, 33-34.

Prestrude, A.M. (1987) Dynamic Visual acuity in the selection of the aviator. En: R, Jensen (Ed) *Prodeedings of the Fourth International Symposium on Aviation Psychology*. Columbus, OH: Ohio State University Press.

Prevent Blindness America (1988) Citado por Sillero, M. (2004) Protección ocular. *Curso de postgrado en Visión y Deporte*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid: Escuela Universitaria de Optica y Optometria. www.kidsource.com/kidsource/content/eyewear.html

Q

Quevedo, LI. (2003a) Visión y Deporte. En: *Libro blanco de la visión en España*. (Ed): Campaña de Protección Ocular "Visión y Vida". Madrid: ICM.

Quevedo, LI. (2003b) *Programa Informático DinVA para determinar la agudeza visual dinámica*. Estudio experimental para superar los 12 créditos de investigación del programa de doctorado "Percepció, Comunicació i Temps". Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona. Facultat de Psicologia.

Quevedo, LL., Solé, J. (1994) Metodología del entrenamiento visual aplicada al deporte. *Gaceta Optica*, 281, 12-16.

Quevedo, LL., Solé, J. (1995) Visual training programme applied to precision shooting. *Ophtahl Physiol Opt*, (15) 5, 519-523.

Quevedo, LI., Solé, J. (2000) *Informe sobre la fiabilidad y validez del programa informático DINVA para determinar la Agudeza Visual Dinámica*. Documento interno del Centro de Alto Rendimiento de Sant Cugat del Vallés.

Quevedo, LI., Aznar-Casanova, J.A. (2005) Agudeza visual estática versus agudeza visual dinámica. Dos vías visuales diferenciadas. *Ver y Oír*, 22 (194), 150-158.

R

Reading, V.M. (1972) Análisis of eye movements responses and dynamic visual acuity. *Pflügers Arch* 333, 27-34.

Reichow, A.W., Coffey, B.A. (1986) A comparison of contrast sensitivity in elite athletes versus a normal population (abstract) *Am J Optom Physiol Opt*, 63 (10), 82.

Reichow, A.R., Coffey, B.A. (1992) *Sports Vision seminar*. European Academy of SportsVision: Cervia.

Reichow, A.W., Stoner, M.W. (1993) *Sports Vision: Introduction to Behavioral Optometry*. Santa Ana, California: Optometric Extension Program.

Roncagli, V. (1990) *Sports Vision*. Bologna: Calderini.

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

S

Sachs, M.B., Nachmias, J., Robson, J.G (1971) Spatial-frequency channels in human vision. *Journal of the Optical Society of America*, 61, 1176-1186. Citado por: Sierra-Vázquez, V. (1992). Procesamiento visual inicial: Aspectos biológicos, psicofísicos y computacionales del análisis espacial de imágenes por el sistema visual humano. Capítulo cinco. En: Mayor, J., Pinillos, J.L. (Eds) *Atención y Percepción* (p.163-321). Madrid: Alambra Universidad.

Sanderson, F.H. (1981) Visual acuity and sports performance. En: *Vision and Sports*. (Eds): Cockerill, I.M.; MacGillivray, W.W. Chetelham: Stanley Thornes, Ltd.

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

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

Sanet, R.B. (1991) Sports Vision. *VIII Sports Vision Symposium*. Dallas: American Optometric Association.

Sanet, R.B. (1992) Seminario: *La Visión Deportiva*. Madrid: Centro de Optometría Internacional.

Saona, C.L. (1987) *Optometria Behavioral*. Terrassa: Cardellach Copies.

Saona, C.L. (1989) *Entrenamientos Visuales*. Terrassa: Cardellach Copies.

Scialfa, C.T., Garvey, P.M., Gish, K.W., Deering, L.M., Leibowitz, H.W., Goebel, C.C. (1988) Relationships among measures of static and dynamic visual sensitivity. *Human Factors*, 30 (6), 677-687.

Seiderman, A.S., Marcus, S.E. (1989) *20/20 is not enough*, Ed. Knopf, New York.

Sekuler, R., Blake, R. (1990) *Perception* (2nd Ed). New York: McGraw-Hill, Inc.

Selye, H. (1974) *Stress without distress*. Londres: Hodder&Stoughton.

Schalen, L. (1980) Quantification of tracking eye movements in normal subjects, *Acta Otolaryngol*, 90, 404-416.

Scheiman, M., Wick, B. (1996) *Tratamiento Clínico de la Visión Binocular*. Madrid: Ciagami.

Schneck, M.E.; Adams, A.J. (1993) Vision and drugs. En: *Environmental vision. Interactions of the eye, vision and the environment*. Ed: Pitts G and Kleinstein. Stoneham: Butterworths and Heinemann.

Schnider, C.M., Coffey, B.M., Reichow, A.W. (1993) Comparison of Contact Lenses vs Spectacles for Sports Oriented Vision performance. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*; (abstract) 34 (4).

Shapley, R.M., Perry, V.H. (1986) Cat and monkey retinal ganglion cells and their visual functional roles. *Trends Neurosci*, 9, 229-235.

Shevlin, J.P. (1999) *Text orienting cues: Enhancing dynamic visual acuity for targets of unknown origin*. Dissertation. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University.

Sherman, A. (1980) Overview of research information regarding vision and sports. *J Am Optom Assoc*, 51, 661-66.

Sierra-Vázquez, V. (1992) Procesamiento visual inicial: Aspectos biológicos, psicofísicos y computacionales del análisis espacial de imágenes por el sistema visual humano. Capítulo cinco. En: Mayor, J., Pinillos, J.L. (Eds) *Atención y Percepción* (p.163-321). Madrid: Alambra Universidad.

Sillero, M. (2004) Protección ocular. *Curso de postgrado en Visión y Deporte*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid: Escuela Universitaria de Optica y Optometria.

Sillero, M., Sampedro, A.R., (2002) Las habilidades visuales de jugadores infantiles. *II Congreso de la Asociación Española de Ciencias del Deporte*. Madrid: INEF.

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

Skeffington, A.M. (1958) The importance of Vision. *Education*, 79, 2.

Socks, J.F. (1983) Use of contact Lenses for cold weather activities. Results of a survey. *International Contact Lens Clinic*, 10, 82-91.

Solé, J. (1992) Deporte y vision: Otro punto de vista. *Ver y Oír*, 66, 39-42.

Solé, J. (1996) *Visión y Deporte: Propuesta metodológica específica e integradora*. Tesis doctoral. Barcelona: Universidad de Barcelona. INEFC.

Solé, J., Quevedo, LL., Massafret, M. (1999) Visión y Deporte: Hacia una metodología integradora. Un ejemplo en baloncesto. *Apuntes de Educación Física y Deportes*, 55, 85-89.

Solé, J., Quevedo, LL., Massafret, M., Planas, A. (1999) Perfil y estudio comparativo de las habilidades visuales de jugadores de baloncesto en función del sexo y nivel de rendimiento. *Actes del Quart Congrés de Ciències de l'Esport, l'Educació Física i la Recreació de l'INEFC de Lleida*. Lleida: INEFC, 499-505.

Solomon, H., Zinn, W.J., Vacroux, A. (1988) Dynamic Stereoacuity: a test for hitting a baseball? *Journal of the American Optometric Association*, 7 (59), 522-526.

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

T

Tapias, M., Pujol, J., Torrents, A., Alvarez, J.L. (1993) *Optica Fisiológica. Prácticas. Optica del Ojo*. Barcelona: Edicions UPC.

Thompson, P. (1982) Perceived rate of movement depends on contrast. *Vision Research*, 22, 377-380.

Tidow, G., Brückner, P., de Marées, H. (1987) On the significance of Dynamic Visual Acuity in Fast Ball Games. *Int.J.Sports Med*, 8 (Abstracts).

Tidow, G., Wühst, K.D., de Marées, H. (1984) Dynamic Visual Acuity as a Performance-influencing factor in sport. *Int.J.Sports Med*, 5 (Abstracts).

V

Viñas Boada, A. (1988) *Sensibilidad al contraste*. Instrumentos de Oftalmología. Barcelona: General Optica.

W

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

Westheimer, G. (2001) Is peripheral visual acuity susceptible to perceptual learning in the adult? *Vision Research*, 41, 47-52.

Wilson, T.A.; Falkel, J. (2004) *Sports Vision: Training for better performance*. Champaign, IL: Human Kinetics.

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

Williams, A.M., Davids, K., Burwitz, L., Williams, J.G. (1992) Perception and Action in Sport. *Journal of Human Movement Studies*, 22, 147-204.

Williams, A.M., Davids, K., Burwitz, L., Williams, J.G. (1994) Visual search strategies of experienced and inexperienced soccer players. *Research Quarterly for Sport and Exercise*, 65 (2), 127-35.

Winogard, S. (1942) The relationship of timing and vision and baseball performance. *Res Q Am Assoc Health Phys Educ*, 26, 212-223.

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

Wolf, D. (1966) *Visual function in theory and practice*. Serie 1. Duncan: Optometric Extension Program.

Woods, T.A. (1993) Ophthalmic lenses for athletes and sportsman. En: *Sports Vision* Ed: Classé JG. Norwalk: Appleton and Lange.

Woods, R.L., Wood, J.M., Jack, M.P. (1997) Exercise does not increase contrast sensitivity. *Clinical and Experimental Optometry*, 80 (5), 173-177.

X-Y-Z

Yamazaki, A., Ishikawa, S. (1973) Horizontal and vertical smooth pursuit eye movements. *Jap J Ophthalmol*, 17, 103-115.

Zeki, S. (1995) *Una visión del cerebro*. Barcelona: Ariel.

SITIOS WEB

Heape, S. (2005) *Investigation into Driver Dynamic visual abilities across age. A preliminary study*. (HEL/RSSB/041019a/RT2 Issue:03). Rail safety and Standards Board. <http://www.rssb.co.uk/hfcp.asp>

Ishigaki, H., Yoshii, I. Are individual differences in sport vision in childhood innate or resulting from experience in sport? www.descente.co.jp/ishimoto/22.

Prevent blindness in America (1994)
www.kidsource.com/kidsource/content/eyewear.html

Anexo 1

Anexo 1.1. (Estudio de la validez de constructo)

1. Informamos al participante sobre las características de la prueba y se leen las instrucciones. (Anexo 1.1a).
2. Permitimos al participante una prueba para familiarizarse con el aparato y el test.
3. Procedemos a valorar la Agudeza Visual Dinámica en las condiciones que se exponen a continuación y cuya selección al azar ha permitido su presentación en distinto orden para los diversos sujetos que han colaborado en este estudio.

SPEED SERIES (2 metros)

A.CONTRASTE MÁXIMO (0.1 cd/m²)

- **1. T.horizontal E-O (1)**
 1. **V1 (14.1º/seg.)** AV: SD: errores:
 2. **V2 (8.58º/seg.)** AV: SD: errores:
 3. **V3 (1.43º/seg.)** AV: SD: errores:
- **2.T.diagonal principal (3)**
 1. **V1** AV: SD: errores:
 2. **V2** AV: SD: errores:
 3. **V3** AV: SD: errores:
- **3.T.diagonal secundaria (4)**
 1. **V1** AV: SD: errores:
 2. **V2** AV: SD: errores:
 3. **V3** AV: SD: errores:

Diez repeticiones de cada serie. Total: 90

B.CONTRASTE MEDIO (30 cd/m²)

- **1. T.horizontal E-O (1)**
 1. **V1** AV: SD: errores:
 2. **V2** AV: SD: errores:
 3. **V3** AV: SD: errores:

- **2.T.diagonal principal (3)**
 1. **V1** AV: SD: errores:
 2. **V2** AV: SD: errores:
 3. **V3** AV: SD: errores:
- **3.T. diagonal secundaria (4)**
 1. **V1** AV: SD: errores:
 2. **V2** AV: SD: errores:
 3. **V3** AV: SD: errores:

Diez repeticiones de cada serie. Total: 90

C.CONTRASTE BAJO (82 cd/m²)

- **1. T.horizontal E-O (1)**
 1. **V1** AV: SD: errores:
 2. **V2** AV: SD: errores:
 3. **V3** AV: SD: errores:
- **2.T.diagonal principal (3)**
 1. **V1** AV: SD: errores:
 2. **V2** AV: SD: errores:
 3. **V3** AV: SD: errores:
- **3.T. diagonal secundaria (4)**
 1. **V1** AV: SD: errores:
 2. **V2** AV: SD: errores:
 3. **V3** AV: SD: errores:

Diez repeticiones de cada serie. Total: 90

Contraste Máximo (0.1 cd/m²) 5 metros

- **1. T.horizontal (1)**
 1. **V1 (5.74°/seg.)** AV: SD: errores:

Diez repeticiones.

1. ¿En qué condición de contraste te ha resultado más difícil realizar el test de AVD?
2. ¿En qué condición de velocidad te ha resultado más difícil realizar el test de AVD?
3. ¿Cuál/es trayectorias del optotipo te han supuesto mayor dificultad para realizar el test de AVD?

Anexo 1.1.a

Instrucciones

A continuación vamos a medir la agudeza visual dinámica, capacidad de discriminar detalles de objetos en movimiento. En este caso, utilizando como optotipo un Anillo-Disco Palomar en movimiento, debes determinar hacia qué lado está abierto el anillo. Existen 8 posiciones posibles de la abertura (arriba, abajo, derecha, izquierda, arriba derecha, arriba izquierda, abajo derecha y abajo izquierda) que señalarás mediante la tecla correspondiente del teclado numérico. Aconsejamos utilizar el dedo índice y colocar la mano sobre las teclas.

El anillo puede desplazarse a distintas velocidades (alta, media, baja) que aparecerán al azar, describir distintas trayectorias en la pantalla (horizontal y dos diagonales), y presentar distintos contrastes con el fondo blanco (negro, gris oscuro y gris claro). El tamaño del estímulo irá creciendo. Cuando determines hacia donde está abierto el anillo debes indicarlo en la tecla correspondiente tan rápido como te sea posible. Sin embargo, ten cuidado de no pulsar ninguna tecla hasta que estés seguro, puesto que los errores restan puntos.

Es importante que tengas en todo momento la espalda pegada al respaldo de la silla. Para familiarizarte con el test y para que puedas plantear las dudas que tengas, primero haremos una prueba que no contabiliza.

Resumiendo, el proceso es el siguiente:

1. Realización de una prueba para familiarizarte con el test y el instrumento.
2. Aparece el anillo en movimiento. Al principio es muy pequeño, pero va aumentando de tamaño. Cuando sea suficientemente grande como para que puedas ver claramente hacia donde está abierto, presiona la tecla correspondiente.

Anexo 1.2. (Estudio de la validez interna)

1. Informamos al participante sobre las características de la prueba y se leen las instrucciones. (Anexo 1.1a).
2. Permitimos al participante una prueba para familiarizarse con el aparato y el test.
3. Procedemos a valorar la Agudeza Visual Dinámica en las condiciones que se exponen a continuación y cuya selección al azar ha permitido su presentación en distinto orden para los diversos sujetos que han colaborado en este estudio.

Contraste máximo (0.1 cd/m²) y Trayectoria horizontal (1)

a. SPEED SERIES (2 metros)

- Velocidad uno (14.1°/seg.) AV: SD: errores:
- Velocidad dos (12.7°/seg.) AV: SD: errores:
- Velocidad tres (11.36°/seg.) AV: SD: errores:
- Velocidad cuatro (9.98°/seg.) AV: SD: errores:
- Velocidad cinco (8.58°/seg.) AV: SD: errores:
- Velocidad seis (7.15°/seg.) AV: SD: errores:
- Velocidad siete (5.7°/seg.) AV: SD: errores:
- Velocidad ocho (4.31°/seg.) AV: SD: errores:
- Velocidad nueve (2.89°/seg.) AV: SD: errores:
- Velocidad diez (1.43°/seg.) AV: SD: errores:

10 repeticiones de cada serie. Total: 100

b. SIZE SERIES

- Tamaño uno (0.964 a 2 m) velocidad: SD: errores:
- Tamaño dos (0.844 a 1.75 m) velocidad: SD: errores:
- Tamaño tres (0.723 a 1.50 m) velocidad: SD: errores:
- Tamaño cuatro (0.643 a 2 m) velocidad: SD: errores:
- Tamaño cinco (0.603 a 1.5 m) velocidad: SD: errores:
- Tamaño seis (0.482 a 2 m) velocidad: SD: errores:
- Tamaño siete (0.386 a 2 m) velocidad: SD: errores:

- Tamaño ocho (0.321 a 2 m) velocidad: SD: errores:
- Tamaño nueve (0.276 a 2 m) velocidad: SD: errores:
- Tamaño diez (0.241 a 2 m) velocidad: SD: errores:

10 repeticiones de cada serie. Total: 100

IMPRESIONES SUBJETIVAS

1. ¿Qué versión del test “speed serie” o “size serie” te ha resultado más difícil?

Anexo 1.2.a

Instrucciones

A continuación vamos a medir la agudeza visual dinámica de dos formas distintas. Utilizando como optotipo un Anillo-Disco Palomar en movimiento, debes determinar hacia qué lado está abierto el anillo. Existen 8 posiciones posibles de la abertura (arriba, abajo, derecha, izquierda, arriba derecha, arriba izquierda, abajo derecha y abajo izquierda) que señalarás mediante la tecla correspondiente del teclado numérico. Aconsejamos utilizar el dedo índice y colocar la mano sobre las teclas.

En una serie (Speed Serie), el estímulo negro puede desplazarse a diez distintas velocidades (desde la más alta a la más baja) que aparecerán al azar, describiendo siempre una trayectoria horizontal en la pantalla. El tamaño del estímulo irá aumentando. Cuando determines hacia donde está abierto el anillo debes indicarlo en la tecla correspondiente tan rápido como te sea posible. Sin embargo, ten cuidado de no pulsar ninguna tecla hasta que estés seguro, puesto que los errores restan puntos.

En la otra serie (Size Serie), el estímulo negro puede tener diez distintos tamaños (desde el más pequeño al más grande) que aparecen al azar, describiendo siempre una trayectoria horizontal en la pantalla. La velocidad de desplazamiento del estímulo irá disminuyendo. Cuando determines hacia donde está abierto el anillo debes indicarlo en la tecla correspondiente tan rápido como te sea posible. Sin embargo, ten cuidado de no pulsar ninguna tecla hasta que estés seguro, puesto que los errores restan puntos.

Es importante que tengas en todo momento la espalda pegada al respaldo de la silla.

Anexo 1.3. (Estudio de la consistencia temporal)**SPEED SERIES (2 metros)****Contraste máximo (0.1 cd/m²)****Trayectoria horizontal (1)****T1**

Fecha

- V1 (14.1°/seg.) AV: SD: errores:
 - V10 (1.43°/seg.) AV: SD: errores:
- 10 repeticiones de cada serie. Total: 20

T2

Fecha

- V1 (14.1°/seg.) AV: SD: errores:
 - V10 (1.43°/seg.) AV: SD: errores:
- 10 repeticiones de cada serie. Total: 20

T3

Fecha

- V1 (14.1°/seg.) AV: SD: errores:
 - V10 (1.43°/seg.) AV: SD: errores:
- 10 repeticiones de cada serie. Total: 20

Anexo 1.4 (Estudio diferencial aplicado al deporte)

SPEED SERIES (2 metros)

A.CONTRASTE MÁXIMO (0.1 cd/m²)

- **1. T.horizontal E-O (1)**
 1. V1 (14.1°/seg.) AV: SD: errores:
 2. V3 (1.43°/seg.) AV: SD: errores:
- **2.T.diagonal principal (3)**
 1. V1 AV: SD: errores:
 2. V3 AV: SD: errores:
- **3.T.diagonal secundaria (4)**
 1. V1 AV: SD: errores:
 2. V3 AV: SD: errores:

Diez repeticiones de cada serie. Total: 60

C.CONTRASTE BAJO (82 cd/m²)

- **1. T.horizontal E-O (1)**
 1. V1 AV: SD: errores:
 2. V3 AV: SD: errores:
- **2.T.diagonal principal (3)**
 1. V1 AV: SD: errores:
 2. V3 AV: SD: errores:
- **3.T.diagonal secundaria (4)**
 1. V1 AV: SD: errores:
 2. V3 AV: SD: errores:

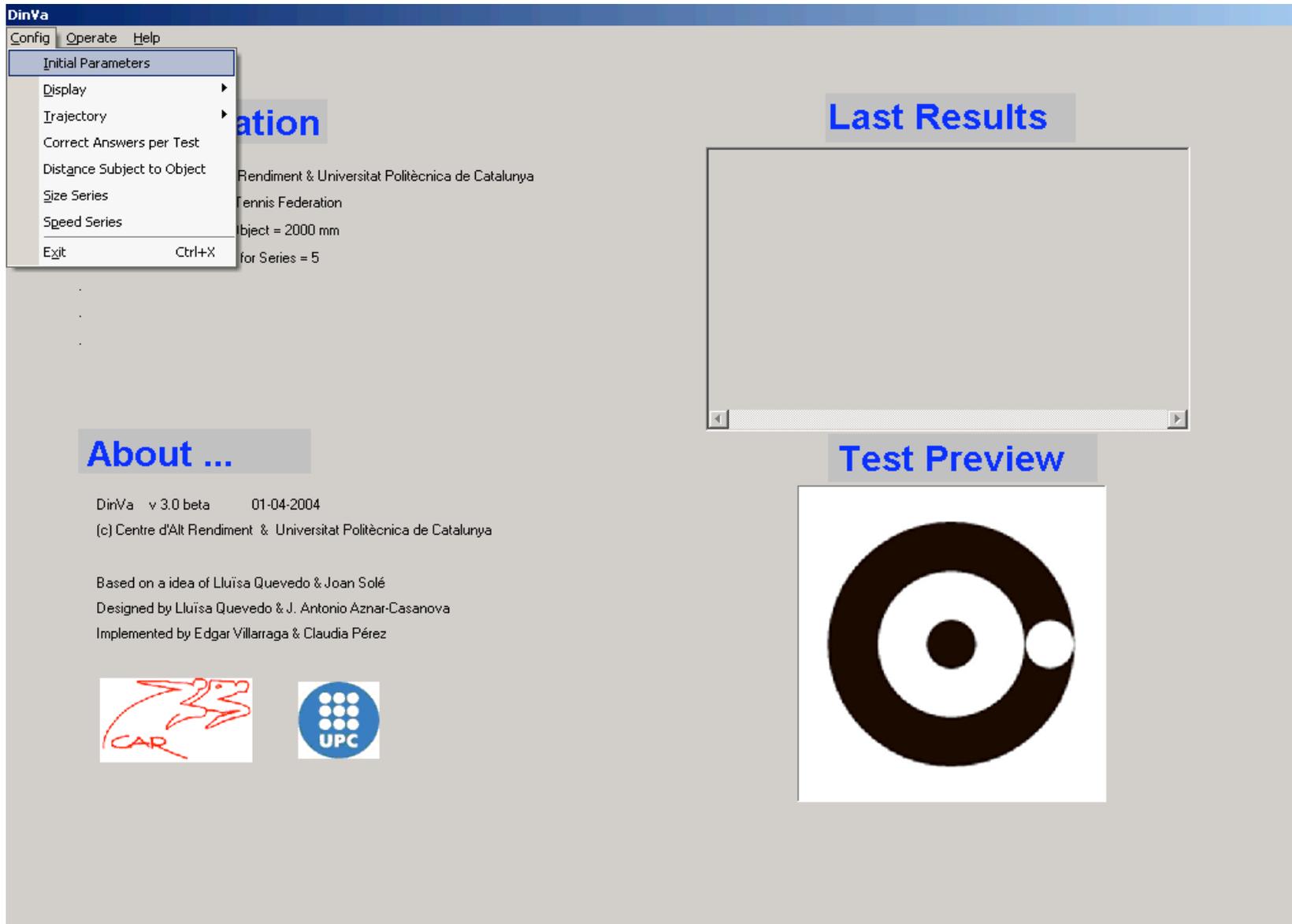
Diez repeticiones de cada serie. Total: 60

CONTRASTE MÁXIMO (0.1 cd/m²) 5 metros

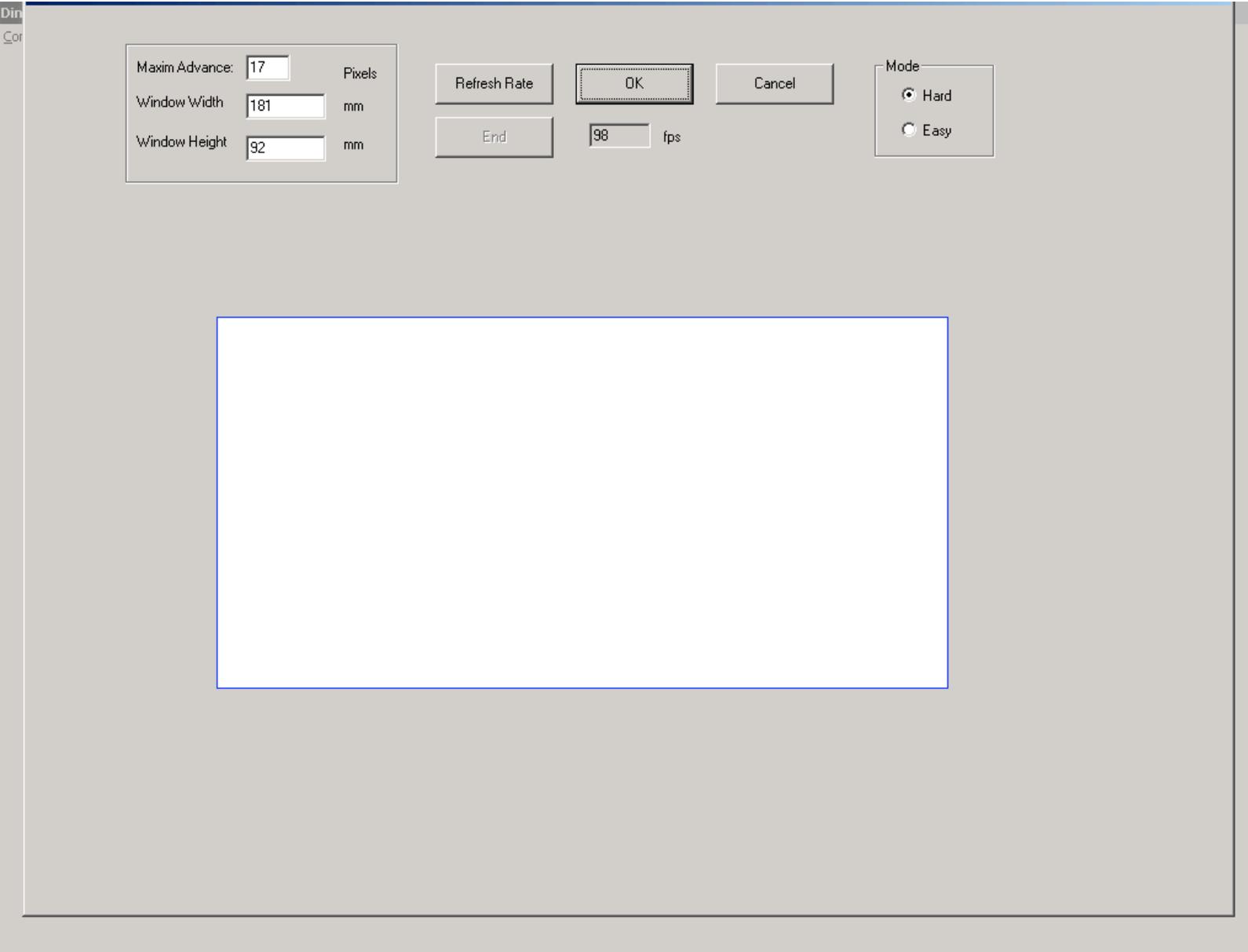
- **1. T.horizontal (1)**
 1. V1 AV: SD: errores:

Diez repeticiones.

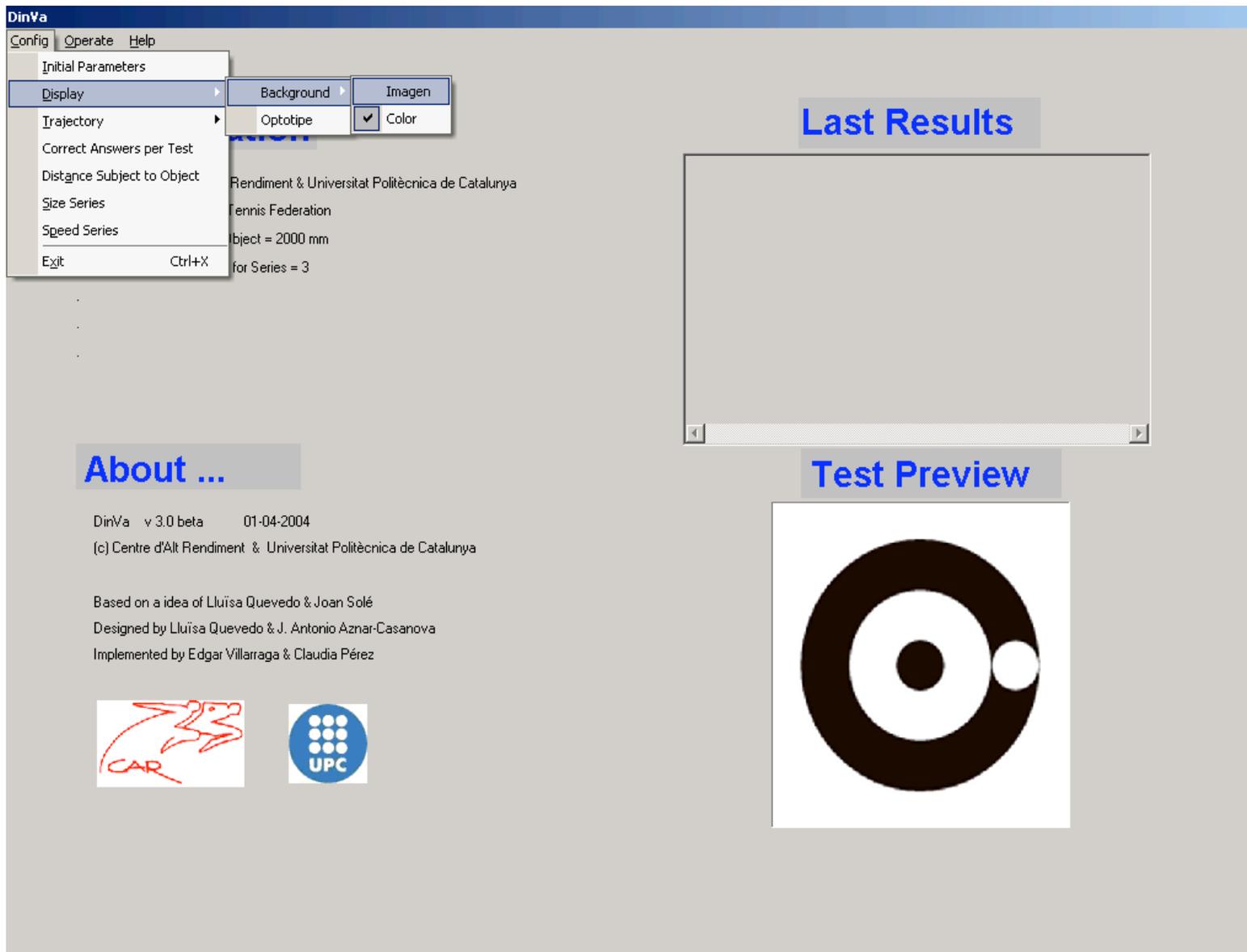
Anexo 2



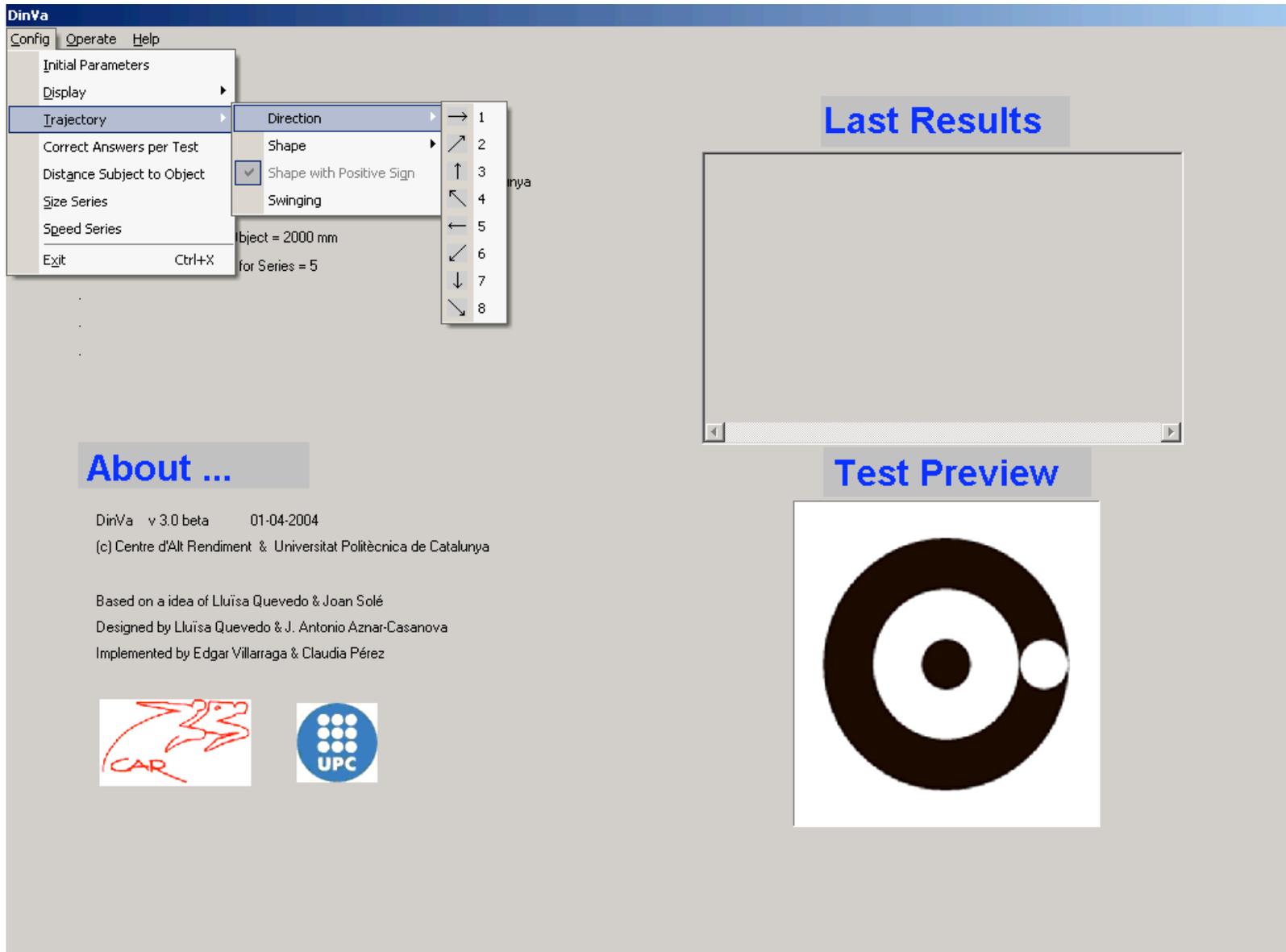
Anexo 2. Pantallas
Inicial



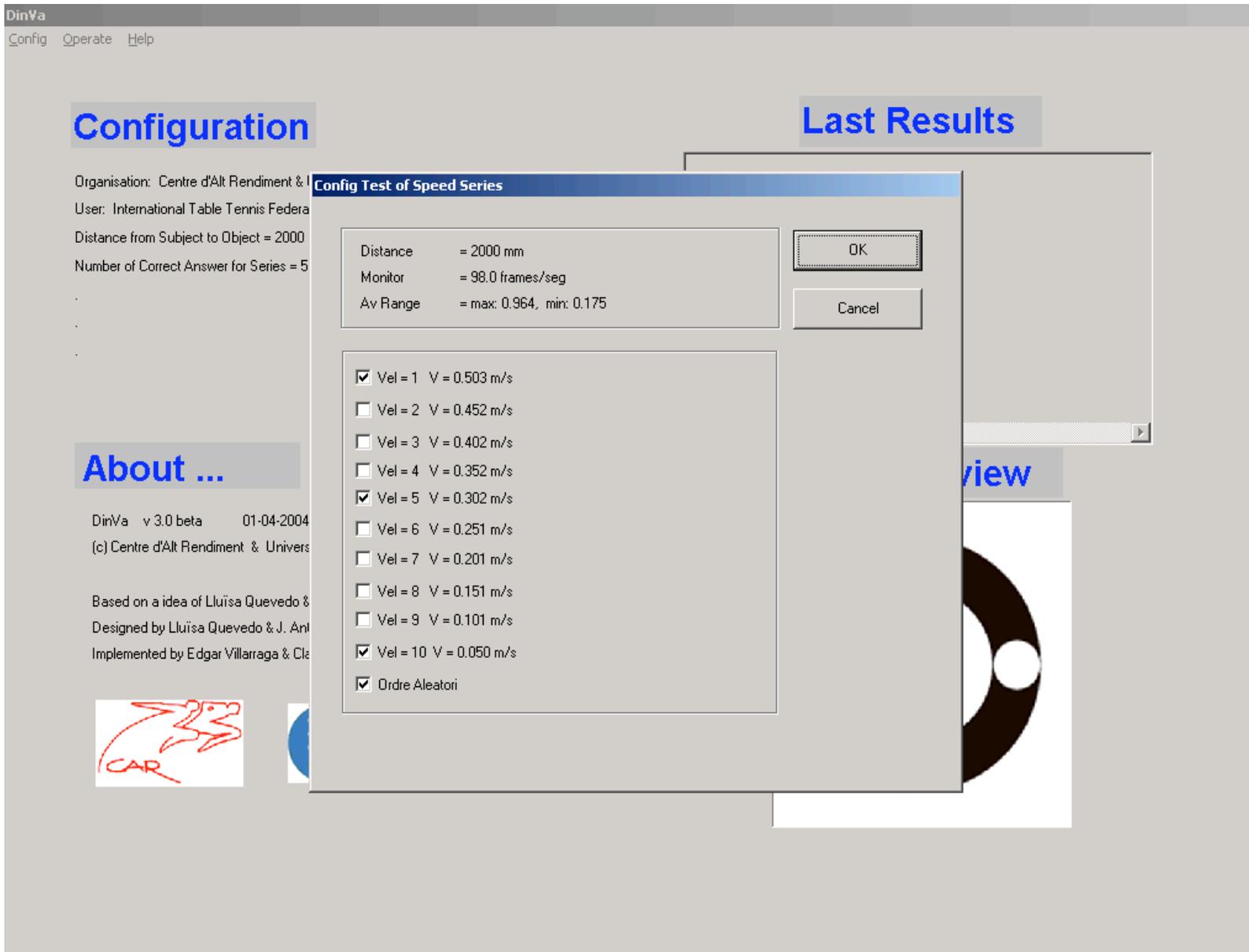
Anexo 2. Pantallas
Calibración y Configuración parámetros Iniciales



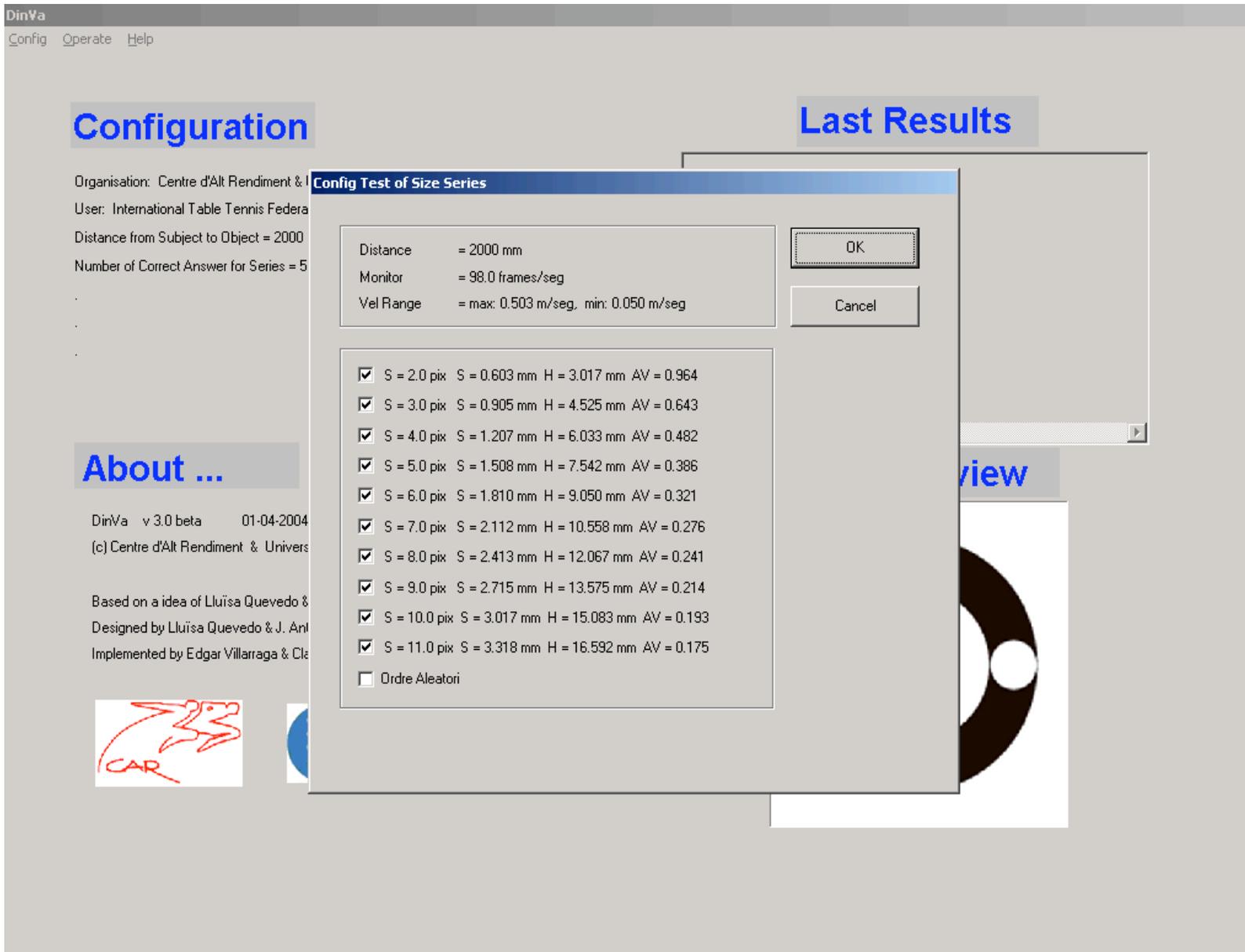
Anexo 2. Pantallas
Selección estímulo y fondo de pantalla



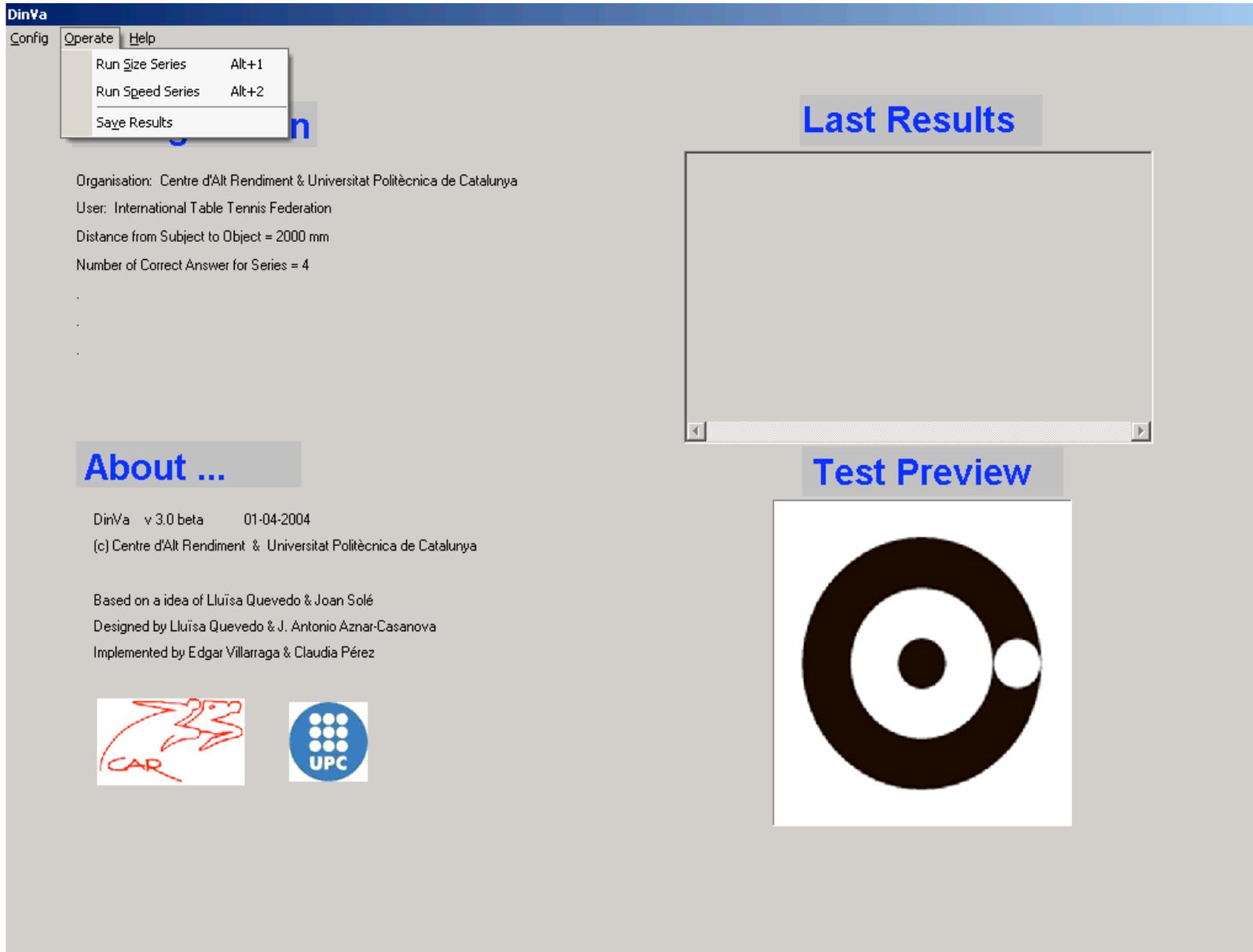
Anexo 2. Pantallas
Selección trayectorias



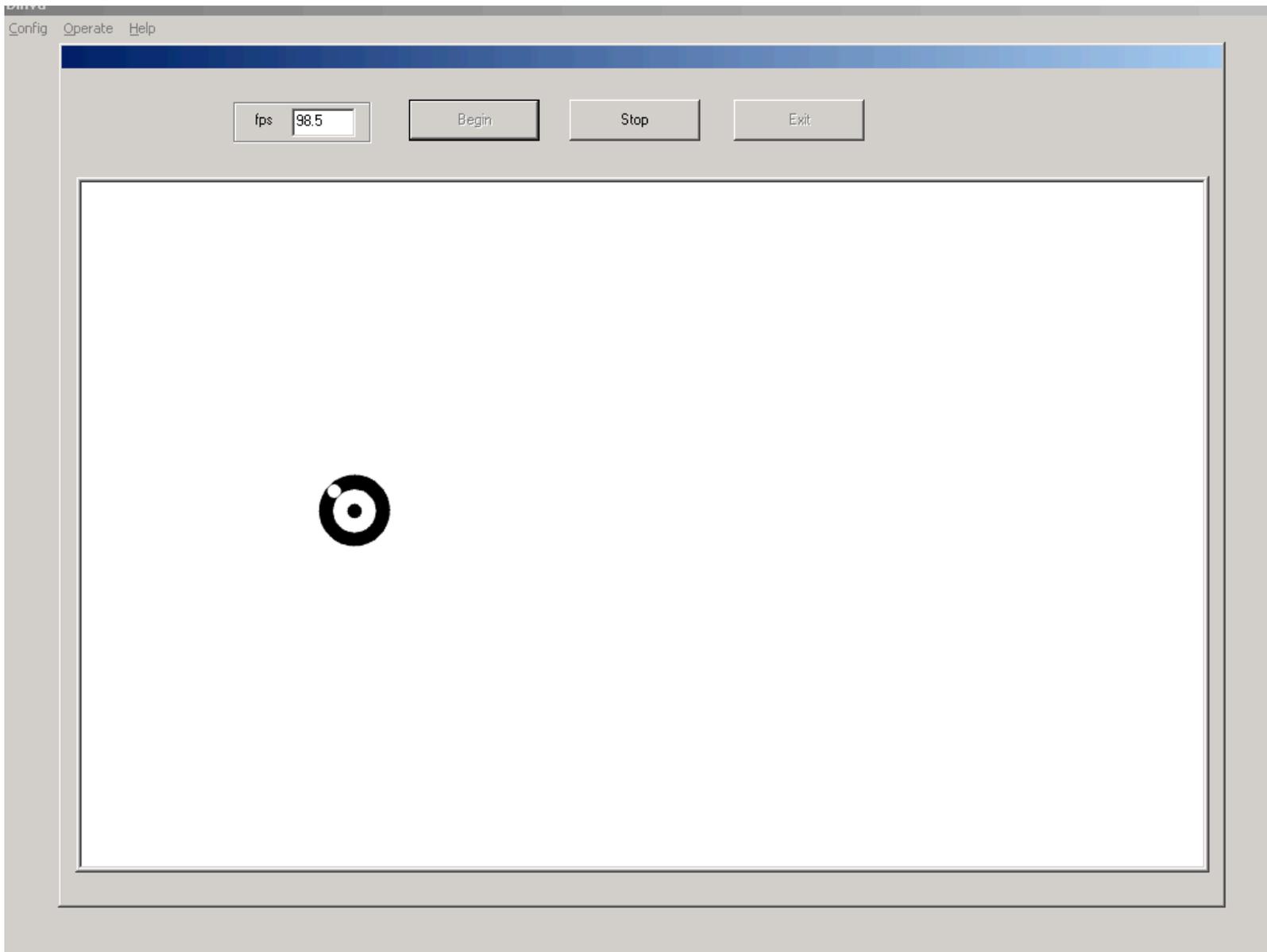
Anexo 2. Pantallas
Speed Series
Selección de velocidades



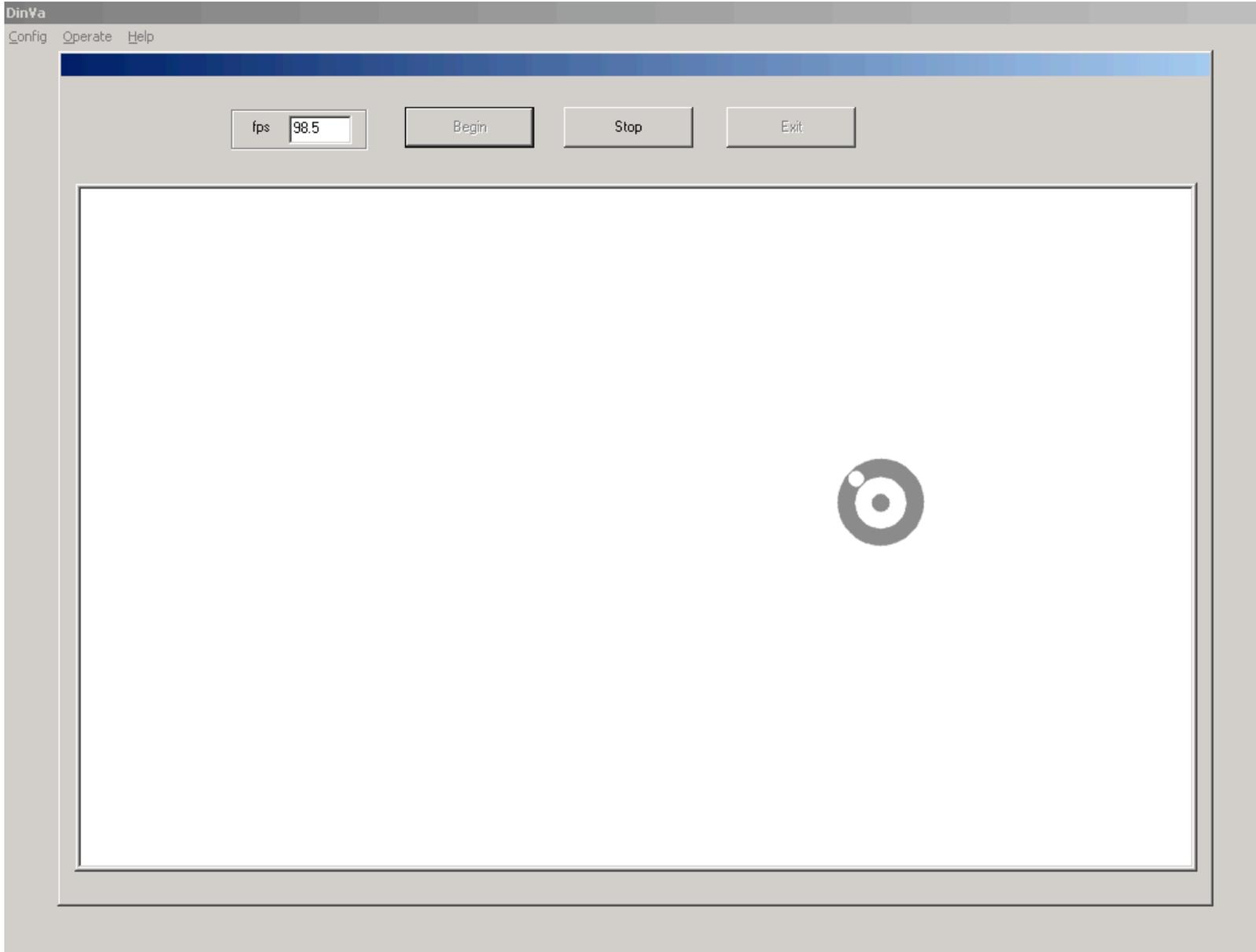
Anexo 2. Pantallas
Size Series
Selección de tamaños



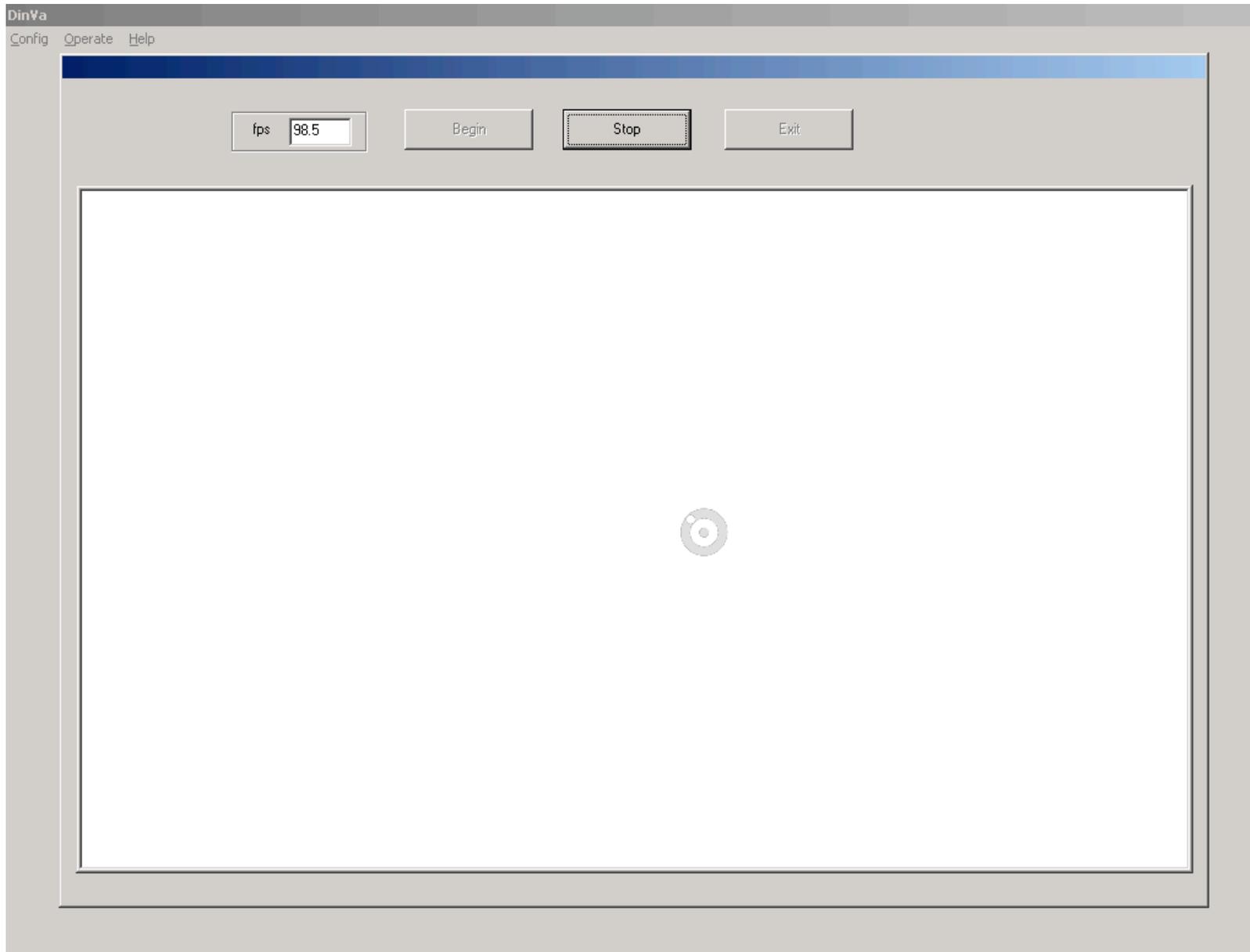
Anexo 2. Pantallas
Selección Series



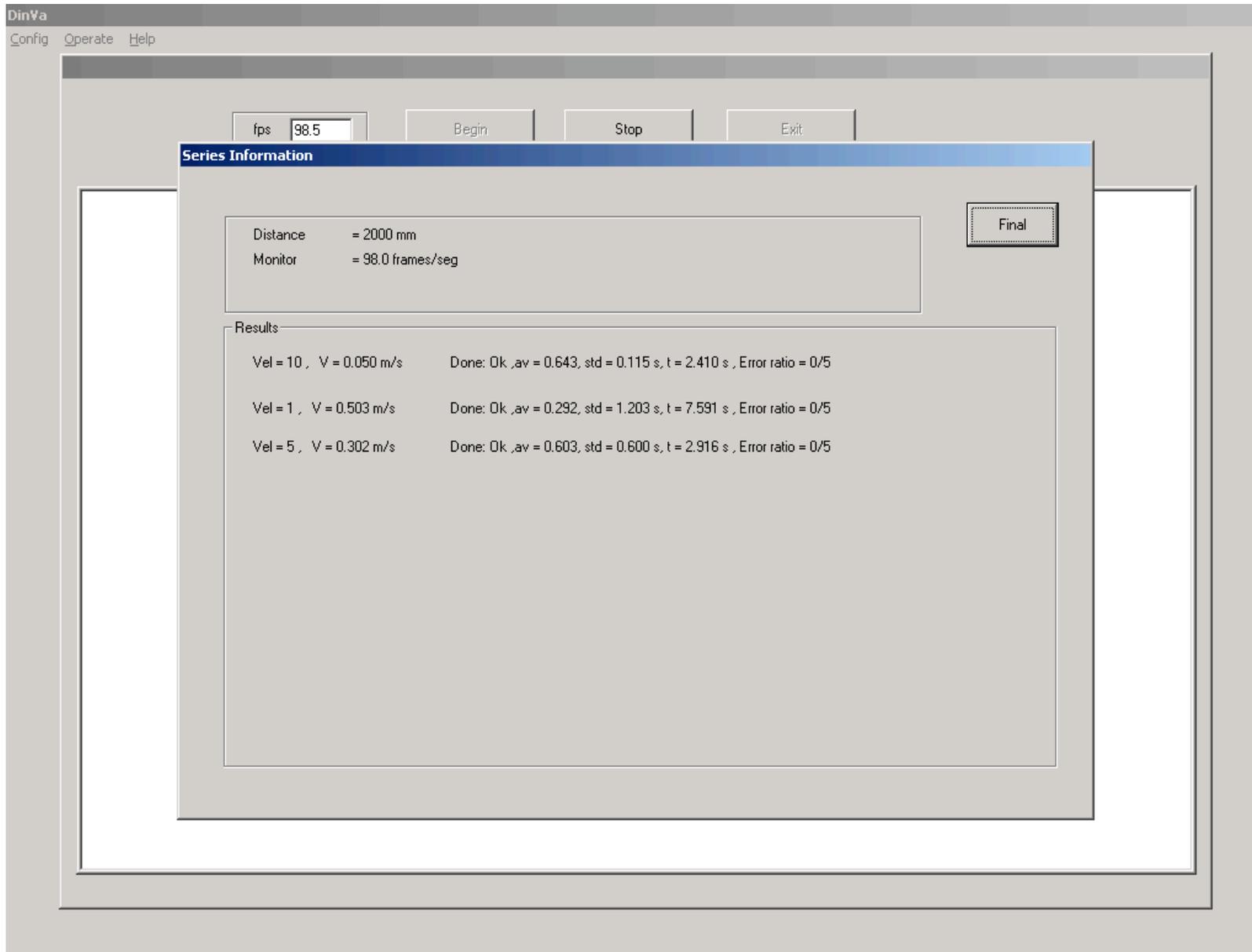
Anexo 2. Pantallas
Contraste máximo



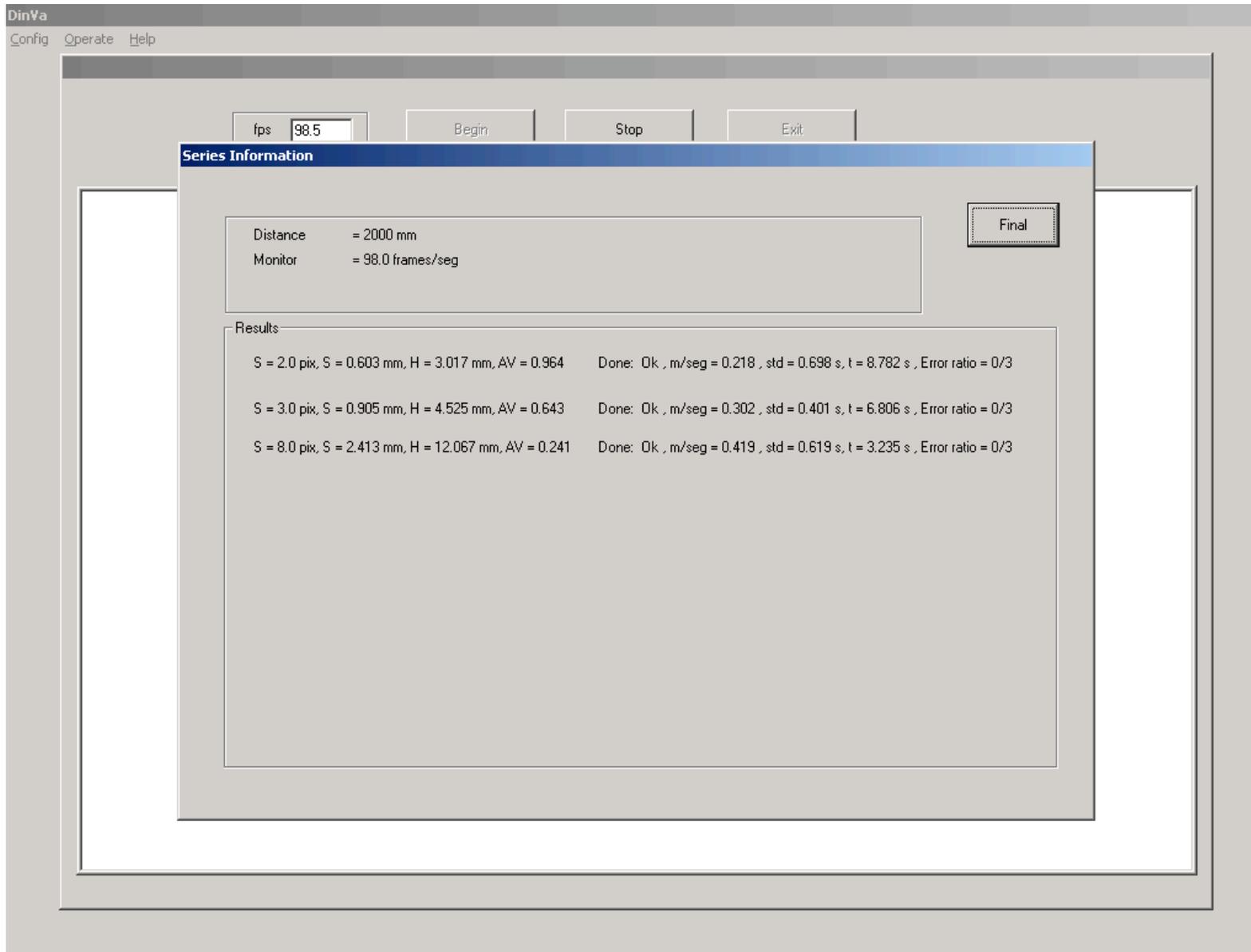
Anexo 2. Pantallas
Contraste medio



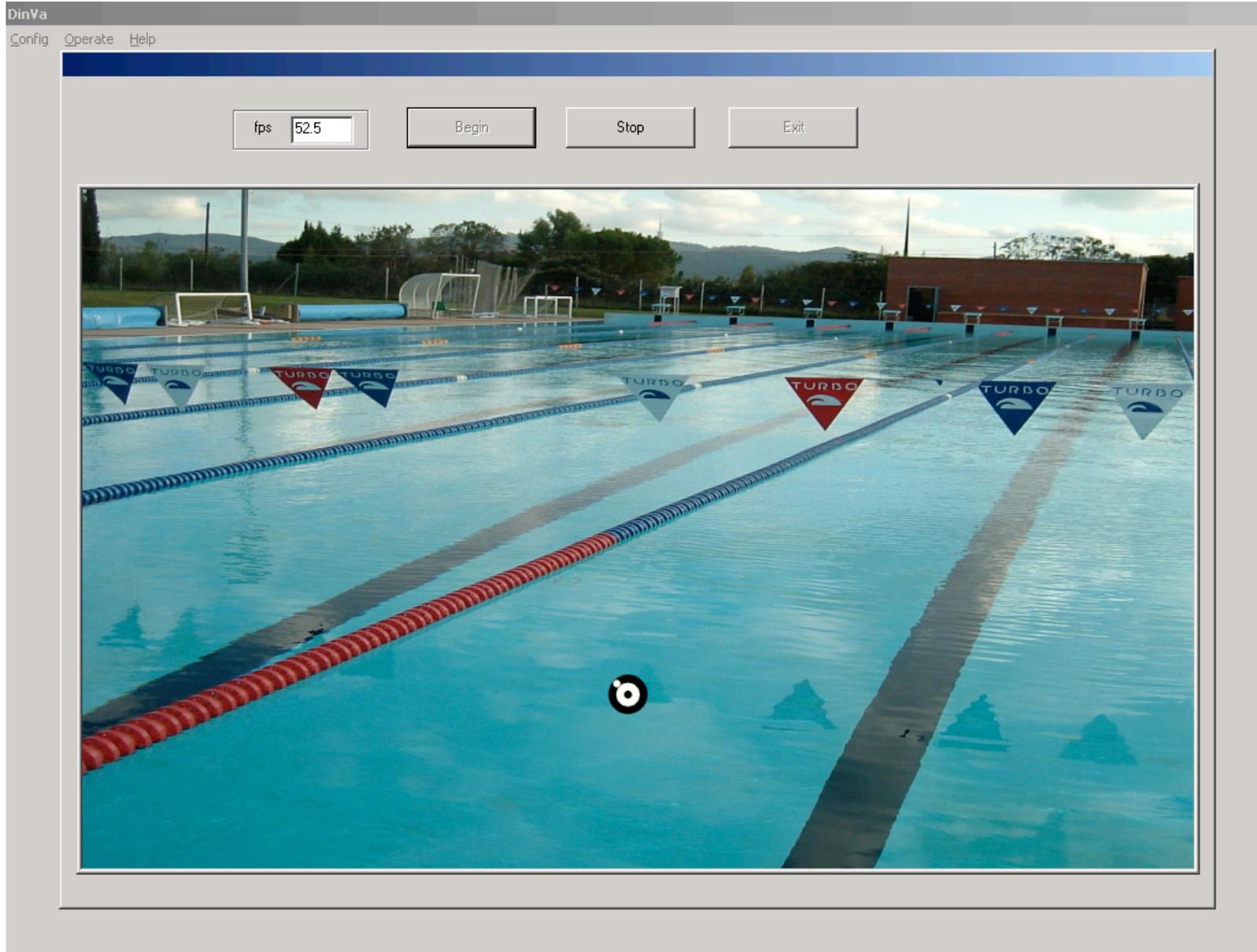
Anexo 2. Pantallas
Contraste bajo



Anexo 2. Pantallas
Resultados Speed



**Anexo 2. Pantallas
Resultados Size**



Anexo 2. Pantallas
Fondo específico waterpolo