

# Visión y vuelo

FRANCISCO RIOS TEJADA  
Capitán médico  
MARINO ARRIBAS NANCLARES  
Comandante médico  
CIMA

**C**lásicamente se ha comparado al ojo humano con una cámara fotográfica; dicha similitud, no es del todo exacta, el ojo humano tiene el más perfecto sistema de autoenfoque, se adapta a un rango enorme de luminosidad, discrimina perfectamente los colores y puede distinguir mínimos detalles en un ángulo visual opuesto, en menos de 30 segundos de arco recorrido. Pero su mayor diferencia estriba en su directa conexión y coordinación con el cerebro. La retina analiza y envía a través del nervio óptico la información visual procedente del medio externo haciendo de este complejo sistema el más importante receptor de estímulos procedentes del medio externo.

Por tanto a nadie se le podría ocultar la importancia de este sentido en la recepción, interpretación y análisis de las aferencias externas de cuya correcta elaboración va a depender el adecuado control de la aeronave.

Por visión normal entendemos no solo una agudeza visual sino una adecuada visión cercana necesaria para controlar los instrumentos, visión lejana para controlar otra aeronave, visión de profundidad indispensable para vuelos en formación, repostaje o maniobras de aterrizaje, visión de colores para lectura e identificación de mapas, capacidad para mantener una adecuada visión nocturna y finalmente tener una

correcta fusión para evitar la visión de objetos dobles.

## ANATOMIA DEL GLOBO OCULAR

La figura 1, muestra un corte horizontal del ojo. El cuerpo o globo ocular propiamente dicho esta formado por tres capas, la externa o esclerótica (blanco del ojo) cuya parte mas anterior es una estructura transparente especializada denominada córnea, elemento integrante del aparato

dióptrico o transmisor de la luz del ojo. La esclerótica esta cubierta por una fina membrana, la conjuntiva que también tapiza el interior del párpado.

La capa media se denomina Coroides compuesta por un tejido rico en vasos, esta capa se continua hacia delante con el llamado cuerpo ciliar o iris, auténtico diafragma del ojo. La coroides soporta nutritivamente la capa más interna o retina.

El cristalino o lente junto a la cornea forma el aparato dióptrico del ojo, se halla sostenido desde su periferia al cuerpo ciliar mediante la denominada zonula ciliar. La transparencia del mismo es fundamental para que el haz luminoso sea proyectado en la retina, la opacidad del mismo se denomina catarata.

Entre la córnea y el iris se localiza la llamada cámara anterior del ojo, entre el iris y la zonula ciliar se encuentra la denominada cámara posterior, ambas es-

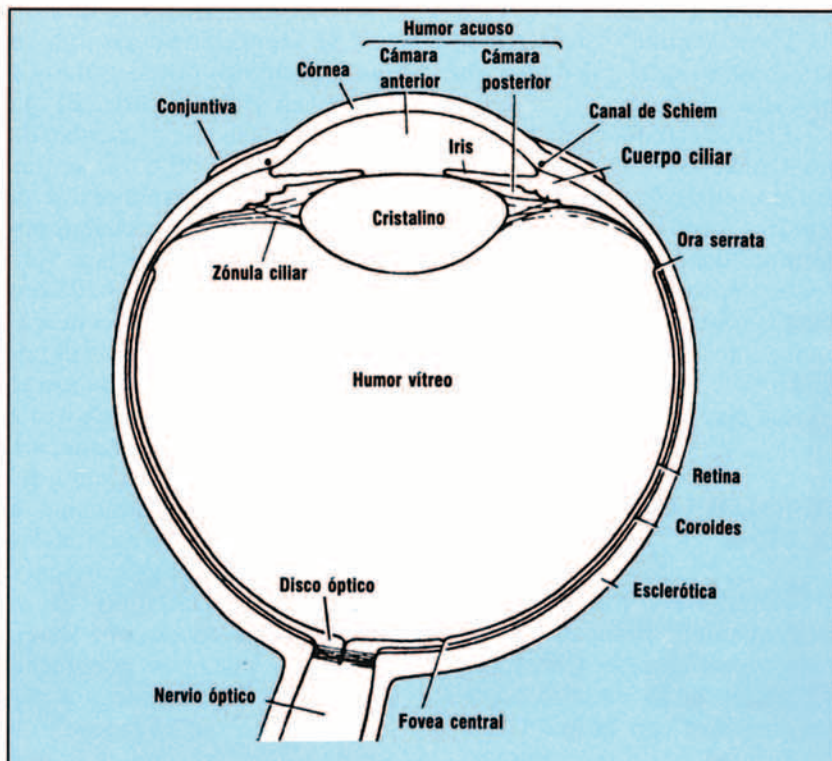


Fig. 1. Anatomía del Globo Ocular.



tan rellenas por un líquido llamado humor acuoso. El cuerpo principal del globo ocular contiene otro líquido llamado humor vítreo. El humor acuoso se secreta sin interrupción por las células del epitelio ciliar en la cámara posterior, desde donde pasa a la cámara anterior; como se produce continuamente, este debe drenarse para que la presión intraocular permanezca normal, ello se realiza mediante un diminuto conducto hacia las venas del ojo, cuando esto no ocurre la presión intraocular aumenta y sobreviene el llamado Glaucoma.

La retina es un órgano enormemente complejo y en su mayor parte constituido por células nerviosas especializadas. Hay que señalar dos áreas de especial interés: "la papila óptica" que es la región por donde entran las fibras del nervio óptico procedentes de la corteza cerebral, además de la arteria y vena central de la retina, esa zona no contiene células fotorreceptoras y por tanto es una mancha ciega fisiológica, y "la fovea central" caracterizada por poseer una pigmentación amarilla.

La retina está formada por capas dispuestas en tres estratos, con dos tipos de células fotorreceptoras denominados conos y bastones debido a su morfología y que se conectan con células ganglionares específicas que transmiten la información recogida por conos y bastones a la corteza cerebral.

## **FISIOLOGIA DEL GLOBO OCULAR**

Los bastones contienen un pigmento llamado rodopsina o púrpura visual que se transforma por acción de la luz, esto ocurre con facilidad con la luz de 500 nm de longitud de onda, su sensibilidad para la luz del extremo

azul del espectro es de un 40%, en cambio su sensibilidad para la luz en la región roja es muy escasa, por ello usando gafas de tonalidad roja se obtiene la adaptación completa de los bastones a la visión nocturna aunque la iluminación general sea normal. Un factor importante en la transformación de la rodopsina es la presencia de vitamina A.

Los conos son más sensibles a la luz en la región de 550nm. La sensibilidad de los conos abarca todo el espectro visible, pero es menor en ambos extremos del espectro que en el centro.

Los bastones están distribuidos principalmente por la periferia del ojo.

Los conos están localizados principalmente en el centro (fovea central o mácula lutea).

## **FUNCION OPTICA DEL OJO**

Los rayos luminosos que llegan al ojo entran a través de la córnea que posee un índice de refracción de 1.33 y una cierta curvatura, lo que hace que los rayos luminosos se desvien al atravesarla. El ojo en reposo tiene una capacidad de refracción total de 67 D de los cuales 45 D corresponden a la córnea. El cristalino tiene un poder de refracción de hasta 1.41 con una potencia de unas 20 D en reposo y unas 12 D en "acomodación" o proceso por el que el poder de refracción del cristalino se modifica al mirar un objeto a una cierta distancia. La acomodación se asocia a una constricción del músculo ciliar que funciona a modo de un esfínter y elimina los rayos que pasan por las porciones periféricas del cristalino. En el ojo normal en reposo (emétrope), los objetos distantes se enfocan en la retina. La diferencia de potencia entre el ojo en reposo y en acomodación máxima es lo que se denomina poder de acomoda-

ción, su valor es de unas 12 D en niños, 7 D en adultos jóvenes y 3 D a partir de los 40 años, edad de la aparición de la presbicia. A medida que avanza la edad el cristalino pierde elasticidad, disminuyendo el poder de acomodación, lo que se conoce como "presbiopia", lo que obliga a utilizar lentes correctoras de cerca.

Los defectos o anomalías ópticas relacionadas con la formación de la correcta imagen en la retina más comunes son la miopía, la hiperopia o hipermetropía y el astigmatismo que serán estudiados al final del capítulo.

## **FUNCIONES VISUALES**

Vamos a analizar algunas de las funciones oculares que van a tener una mayor transcendencia en la elaboración de la información necesaria para el posterior análisis de la misma a nivel de corteza visual.

El aparato visual, al recibir un estímulo luminoso, ha de cumplir 3 funciones básicas:

- a) Debe ser capaz de percibir un objeto gracias a la luz emitida o reflejada por este.
- b) Debe ser capaz de percibir los detalles de ese objeto, es decir lo que denominamos agudeza visual.
- c) Debe discriminar distancias entre objetos y percibir el movimiento de estos, lo que denominamos discriminación espacial.

El primer apartado lo podemos denominar como "Discriminación Luminosa, y en este concepto incluimos 3 características principales, sensibilidad al brillo o habilidad para detectar la escasa luz que exista, capacidad para detectar cambios en la intensidad de la luz y finalmente capacidad para discriminar entre los colores del espectro.



A lo largo del día el ojo humano utiliza un distinto tipo de receptor visual, según la intensidad lumínica, y utilizando un tipo u otro de receptor visual: conos, bastones o ambos.

### Visión escotópica

Cuando la iluminación está por debajo de una cierta intensidad el ojo humano no responde, sólo habría oscuridad, conforme

punto, mirando fijamente un objeto estamos utilizando los conos menos adaptables a la visión nocturna, mientras que si dirigimos la mirada utilizando nuestra visión periférica estamos estimulando los bastones 1000 veces mas sensibles a la oscuridad.

La figura 2, demuestra como, cuando la iluminación está por debajo de una cierta intensidad, aproximadamente  $10^{-6}$  log/ml,

una noche de luna llena), en ese momento los conos empiezan a ser estimulados y entramos en la denominada "visión mesópica".

### Visión mesópica

Caracterizada por la combinación de visión de conos y bastones, típica del ocaso, cuando la luminancia está justo por encima del nivel requerido para la visión de conos.

### Visión fotópica

A una intensidad luminosa de  $10^2$  log/ml solo los conos están funcionando y hablamos de "visión fotópica". Es la fovea el área más rica en conos y por tanto la utilizada para una mayor discriminación y fijación de un objeto. Instintivamente cuando queremos distinguir al detalle un objeto la imagen de este es colocada automáticamente en la fovea. Van a ser los conos, máximos responsables en la visión de colores.

Los conos son sensibles al color y consideramos como límite máximo de tolerancia a la luz intensidades entre  $10^4$  y  $10^5$  log/ml de luminancia.

### Visión de los colores

El espectro de luz visible está comprendido entre 400 y 800 nanómetros ( $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$ ), la luz azul o violeta posee las ondas mas cortas y el rojo las más largas. Las áreas de radiación ultravioleta e infrarroja son adyacentes al espectro visible.

La visión de los colores depende de tres receptores retinarios sensibles al rojo (conos con un máximo de absorción a 555 nm), otros sensibles al azul (max. absorción a 450 nm) y al verde con un pico de absorción de 525 nm-

Hay que distinguir tres características que definen la visión de colores.

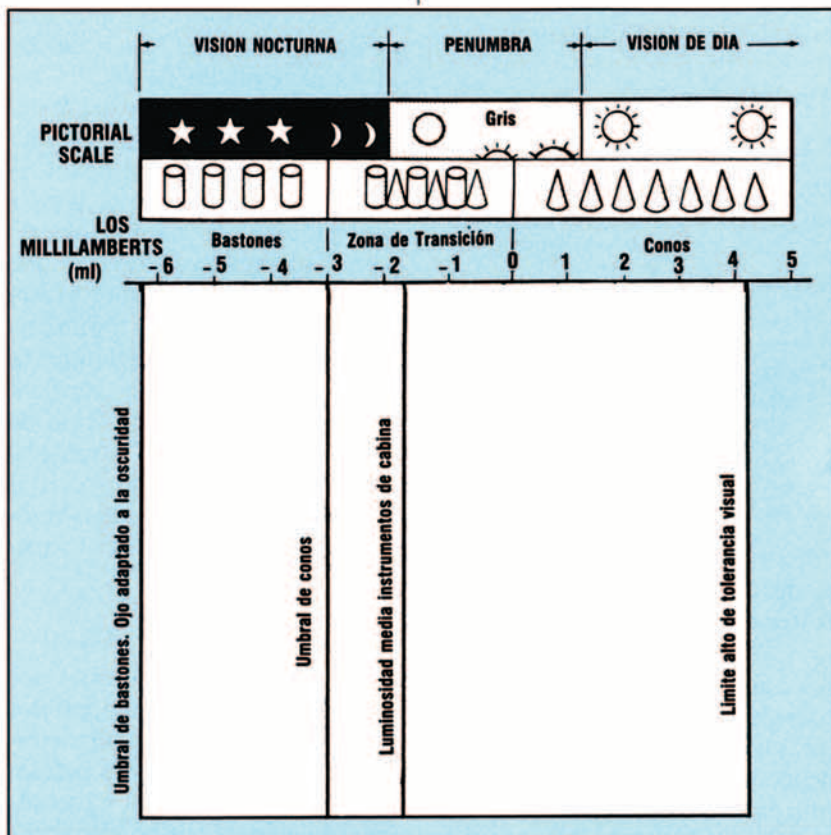


Fig. 2. Estimulación de los receptores bajo las diversas condiciones de iluminación. (modificado de DeHart).

la luz o nivel de iluminación aumenta se empieza a ver sombras y objetos, entonces empiezan a actuar los bastones responsables de la visión nocturna o "visión escotópica". Este tipo de visión proporciona una agudeza visual entre 20/200 y 20/400. Teniendo en cuenta que en la fovea sólo encontramos conos, durante la visión nocturna debemos mantener la imagen objeto fuera de ese

el ojo humano es incapaz de responder y el resultado es la oscuridad más absoluta. A medida que el nivel de luminosidad aumenta se empiezan a distinguir sombras y objetos, entramos en el umbral de la llamada visión escotópica, a espensas de los bastones, si la iluminación sigue aumentando hasta un umbral de  $10^{-2}$  log/ml (similar a la luz reflejada por un paisaje nevado en



a. "Color" propiamente dicho o capacidad de distinguir los tres colores básicos, rojo, verde y azul definidos por tres receptores básicos ya mencionados. Si se estimulan todos los receptores al mismo tiempo obtendríamos el color blanco.

b. Hablamos de "saturación" a la capacidad de combinación de colores, que conduce a la definición de todo el espectro.

c. Hablamos de "brillo" a la cantidad de flujo luminoso que alcanza el ojo.

A bajos niveles de iluminación, es la fovea rica en conos la que se convierte en el llamado punto ciego, la mejor visión nocturna se conseguirá mirando a aproximadamente 10 o 15 grados fuera para estimular la parte de la retina rica en conos y bastones.

### Adaptación a la oscuridad

Si pasamos rápidamente de un área intensamente iluminada a otra en la oscuridad, como cuando entramos en un cine, observamos como el ojo necesita de un tiempo para que los objetos se distinguan ante nuestra vista. Este proceso implica un paso de visión fotópica a escotópica acompañado por un marcado cambio en el brillo de los colores. La sensibilidad de conos y bastones a la luz está marcada por una curva (véase figura 3) que en el caso de los conos no esta desviada tanto hacia el espectro correspondiente al violeta (420 nm).

En el proceso de adaptación a la oscuridad los conos se adaptan bastante rápidamente (5 min.) mientras que los bastones lo hacen mas lentamente (25 min.). Ambos conos y bastones tienen su máximo de sensibilidad a la luz en el espectro electroforético, siendo de 510 nm para los bastones y 555 nm para los conos. Ello explica como si colocamos unas gafas de color rojo previamente a

misiones de tipo nocturno en aproximadamente 15 minutos habremos conseguido una adaptación suficiente. Con una sensibilidad a la 610 nm logramos que sean los conos los estimulados, pues los bastones son prácticamente insensibles al rojo, permitiendo una adaptación de los conos previa a la misión nocturna. Este proceso es independiente en cada ojo. El cuadro 1, incluye algunas recomendaciones para conseguir una mayor eficacia en misiones de vuelo nocturno.

### Agudeza visual

Es la capacidad para distinguir objetos de reducido tamaño con sus detalles de forma nítida en

Cuadro
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dieta rica en Vitaminas A (zanahorias).</li> <li>2. Adaptarse a la oscuridad antes del despegue.</li> <li>3. Evitar luces intensas o de destello.</li> <li>4. Mirar 10°-15° por fuera del objeto.</li> <li>5. Rastrear los objetos con la vista.</li> <li>6. Mantener visor, cristales o gafas de visión nocturna limpias.</li> <li>7. Utilizar oxígeno suplementario por encima de 10.000 pies.</li> </ol>

sus contornos o la aptitud del ojo para detectar una separación entre dos objetos adyacentes y que depende de la capacidad de la retina para percibir una separación entre las imágenes que inciden en ella. Viene determinado por la denominada visión central o foveal donde se localizan exclusivamente conos, siendo la relación cono - conexión nerviosa de 1:1, conforme nos desplazamos a la periferia, esta proporción disminuye, pudiendo estar varios cientos de conos conectados a una sola fibra nerviosa. En la fovea central la agudeza visual llega casi al doble que fuera de ella y es unas 40 veces mayor que en el borde de la retina.

### Problemas aeromédicos de especial interés en oftalmología.

#### *Defectos en la Agudeza Visual.*

Es evidente que para el desempeño de cualquier función en el interior de la cabina o fuera de ésta se requiera una visión cercana y lejana de 20/20 equivalente a la unidad, aún así son necesarios aproximadamente 5.9 segundos, como media, para ver un objeto, reconocerlo, y tomar las acciones oportunas durante una misión aérea. Una visión de 20/20 es el requisito para los aspirantes, considerando que si se necesita corrección a partir de una cierta edad por tratarse de un fenómeno fisiológico no habría contraindicación para el uso de lentes correctoras siempre que con estas se alcance una visión normal o dentro de los límites establecidos por los reglamentos vigentes. Es importante recalcar la necesidad de la utilización de las lentes correctoras durante el vuelo y de hecho así se especifica en la calificación medico-aeronáutica del reconocimiento psicofísico periódico.

#### *Defectos en el Campo Visual*

Defectos de campo visual por regla general no son compatibles con las tareas de vuelo. Generalmente se asocian a otras patologías y la detección de un escotoma o defecto de campo visual nos debe llevar a descartar problemas como lesiones quiasmáticas (parte del nervio óptico en su vía de conexión con la corteza cerebral), problemas vasculares, esclerosis múltiple o glaucoma.

#### *Visión de Colores*

Anormalidades de la visión de colores o discromatopsias habitualmente son de origen congénito pero también pueden ser adquiridas debido a traumatismos craneoencefálicos, retinopatías,



enfermedades de Sistema Nervioso Central o intoxicaciones. Las anamolías pueden afectar a la percepción de colores puros o combinados. Son descalificatorias, y más frecuentes en los varones que en las hembras. Las de origen adquirido siempre habrá que descartar el verdadero origen de las mismas.

### Forias

Se conocen por forias las desviaciones latentes del ojo ocular,

por procesos como esclerosis múltiple o diabetes. Las tropias pueden ser causa de visión doble y por ello han de considerarse de acuerdo con los requerimientos psicofísicos establecidos.

### Glaucoma

Como hemos dicho previamente se conoce como glaucoma el aumento de la presión intraocular, debido al acúmulo de humor acuoso en la cámara anterior del ojo por dificultad para el drenaje

de burbujas bajo la lente, desplazamiento de la misma por efecto de aceleraciones, dolor y sequedad debido a la falta de humedad en las cabinas de las aeronaves. No obstante recientes estudios han observado que la incidencia de complicaciones es mínima y que la decisión de utilizarlas o no dependerá del tipo de misión, tipo de aeronave y localización geográfica.

### Queratotomía radial

La Queratotomía Radial (QR), es un procedimiento quirúrgico que mediante la realización de un número de incisiones radiales en la córnea permite la corrección de defectos de refracción como la miopía. El objetivo es conseguir una corrección de 20/20, evitando la utilización de lentes de contacto o gafas correctoras.

Están descritas complicaciones como disminución de la agudeza visual, poder de refracción inestable, reducción de visión de contraste y mayor susceptibilidad al deslumbramiento.

Por todo ello al menos para los candidatos iniciales la QR es descalificante.

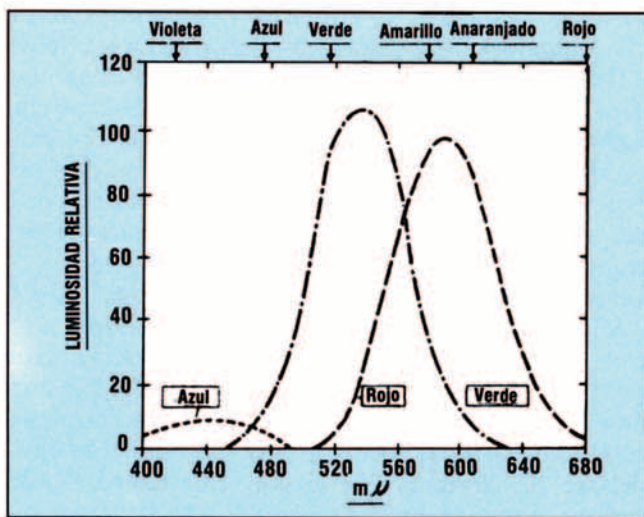


Fig. 3. Sensibilidad de conos y bastones a las distintas longitudes de onda.

es decir aquellas que sólo se manifiestan cuando se interrumpe la visión binocular (cuando no hay fusión). Hay un cierto grado de foria que se considera fisiológica y aparece casi en el 100% de la población, sólo cuando estas son relevantes se considerarán como causa de descalificación aeroméica, teniendo en cuenta que algunos estrés de vuelo como la hipoxia y la fatiga pueden acentuarla.

Hablamos de tropias (estrabismo) cuando existe una manifiesta desviación del ojo ocular. Están presentes en un 3% de la población. Tropias pueden ser debidas a exceso de acomodación para suplir una hipermetropía, a lesiones congénitas del Sistema Nervioso Central o adquiridas

del mismo. Hay tres variedades de glaucoma, el más común es el denominado de ángulo abierto que afecta a un 3% de la población por encima de los 40 años, raramente produce síntomas durante cerca de 10 años y el diagnóstico más común se realiza durante los exámenes oftalmológicos rutinarios. La detección temprana del mismo es de vital importancia de ahí la necesidad de efectuar examen tonométrico (presión intraocular) del ojo sobre todo a partir de los 40 años.

### Lentes de contacto

Desde un punto de vista estrictamente operacional, habría que considerar como factores de riesgo los secundarios a la presencia

### Visión e hipoxia

El aparato visual es el primer órgano que se ve afectado por la falta de oxígeno, poniéndose de manifiesto sobre todo en misiones de vuelo nocturno. A partir de los 5.000-10.000 pies los vasos retinianos se vuelven cianóticos, las arteriolas compensan este déficit vasodilatándose y la pupila disminuye de tamaño observándose hasta un 40% de pérdida de visión. Evidentemente esto no ocurre si la aeronave está presurizada o dispone del adecuado sistema suplementario de oxígeno. En aviones no presurizados por encima de 10.000 pies y sobre todo en misiones de vuelo nocturno se recomienda oxígeno suplementario.



### Disbarismos

Aunque ocurre muy raramente están descritos transitorios defectos visuales y aparición de escotomas, acompañados de cefalea como consecuencia de fenómenos disbáricos (Enfermedad Descomprensiva).

### La visión como parte del sistema de orientación

Junto con el sistema propioceptivo y aparato vestibular constituye el principal órgano de control y orientación en los tres ejes del espacio. Es la visión periférica no focalizada el principal elemento envuelto en la orientación del individuo con respecto al ambiente que le rodea. A pesar de ello el aparato visual no siempre es fiable al 100%, y un conjunto de ilusiones visuales pueden conducir a errores de percepción como las secundarias a falsa perspectiva aérea durante maniobras de aterrizaje, falsos horizontes, confusión de luces, ilusiones estructurales por fenómenos meteorológicos etc.

### Aceleraciones

El aparato visual es afectado por la exposición a aceleraciones mantenidas. Un incremento continuado de aceleraciones +Gz, lleva a una caída de la presión en la arteria oftálmica, apareciendo primero la denominada visión

gris y luego visión negra. Aproximadamente a +3.5-4.5 +Gz se empieza a observar una pérdida de visión periférica, lo que se denomina visión túnel.

Fuerzas acelerativas negativas -Gz, causan congestión de los vasos de la parte más craneal del organismo produciendo cefalea intensa.

### Defectos de refracción (anormalidades ópticas)

Dos de los defectos más comunes se deben al tamaño anormal del globo ocular, la hipermetropía o hiperopía y la miopía.

-“Hipermetropía”. Se caracteriza por un globo ocular anormalmente corto, por tanto la distancia desde el cristalino a la retina está disminuída, la imagen se forma por detrás de la retina. Se corrige con una lente esférica convexa.

-“Miopía”. Se caracteriza por un globo ocular anormalmente elongado, la distancia entre el cristalino y la retina es mayor de la normal. La imagen se formará por delante de la retina. La visión cercana no se afecta. Se corrige con una lente cóncava apropiada.

-“Astigmatismo”. Es un defecto óptico debido a una curvatura anormal en la cornea (elipsoide u ovoide). Parte de la imagen se enfoca en la retina y parte no. Se corrige con una lente cilíndrica.

### Exploración oftalmológica básica

-“Exploración de la agudeza visual”. Se utilizan escalas de optotipos que se han de identificar a una distancia de 6 metros.

-“Exploración de la visión de colores”. Utilizamos Tablas Isocromáticas. Para la calificación médico aeronáutica se emplea la linterna de Beyne que suministra colores aeronáuticos.

-“Defectos de refracción”. Se toleran ligeras anamofías dependiendo de las misiones. El límite máximo permitido es de  $\pm 3$  Dioptrías, para los reconocimientos menos exigentes.

-“Forias”. Se emplea un sinoptóforo para su cuantificación.

-“Visión de Contraste”. Se utilizan sistemas informatizados con una gran variedad de bandas de contraste.

-“Campo visual”. Hay que utilizar siempre un campímetro, la tolerancia máxima esta en  $15^\circ$  de pérdida. Los escotomas centrales y paracentrales descalifican.

-“Fondo de ojo”. Se realiza rutinariamente. Aporta muchos datos objetivos en algunas enfermedades sistémicas, además de los posibles trastornos propiamente visuales.

-“Tonometría”. Se práctica a todos los reconocidos mayores de 40 años. Interesa siempre un diagnóstico precoz del Glaucoma.

### BIBLIOGRAFIA

1. E.E. Selkurt. *Fisiología*. El Ateneo. 5 Ed. Buenos Aires, 1985

2. T.J. Tredici. *Ophthalmology in Aerospace Medicine*. In: R. L. DeHart. *Fundamentals in Aerospace Medicine*. Lea & Febiger. Philadelphia 1985, 465-510.

3. D.H. Brennan. *Visión in flight*. In: J. Ernsting & P. King. *Aviation Medicine*. 2nd. Ed. Butterworths. London 1988, 339-352.

4. R. B. Raymann. *Clinical Aviation Medicine*. 2nd. Ed. Lea & Febiger. Philadelphia. 1990.

5. Lattimore M.R. *A contact lens review*. *Aviat. Space Environ. Med.* 1990; 61: 946-949.

6. S. Tinning. *Contrast Sensitivity & Glare following Keratotomy*. Paper num. 27 presented in AGARD Oct. 1990 Meeting. London.