

Dr. José L. Rodríguez Villa
Experto en Oftalmología Aeronáutica
Servicio Médico de Iberia, Líneas Aéreas de España

5.- VISION Y VUELO

Introducción:

La visión constituye en Aeronautica el más importante de los sentidos. A decir de Stringer, hasta un 80 % de la información necesaria para el vuelo es adquirida a través del sistema ocular. Desde un punto de vista fisiológico, es conveniente recordar que la sensación visual es el resultado de una compleja interacción entre el ojo y el cerebro, lo que supone que su normal performance requiere, no solo de la integridad de aquel, sino también de una serie de elementos vasculares, nerviosos, etc., encargados de que todas las estructuras implicadas realicen su función adecuadamente.

Para volar se precisan todas y cada una de las cualidades de nuestra visión:

- Agudeza visual y amplitud del campo visual, necesarias para localizar e identificar otras aeronaves y el terreno sobre el que se vuela.
- Disponer de una buena visión de profundidad, para realizar los aterrizajes seguros y sin riesgos.
- Disponer de una agudeza visual próxima normal que permita leer correctamente los instrumentos y las cartas de navegación.
- Visión normal de los colores, necesaria para identificar correctamente las señales y balizajes de aviación, o los datos instrumentales expresados en color.
- Adecuada capacidad de adaptación retiniana a las múltiples condiciones de iluminación inherentes a la operación de vuelo. Un piloto avezado necesita poder cambiar rápidamente su visión desde la obscuridad del mundo exterior a la iluminación de la cabina y del cuadro de mandos y viceversa.

En el caso de las tripulaciones aéreas existen factores específicos del vuelo que pueden afectar la función visual como son:

- La velocidad, factor que hace imprescindible disponer de una adecuada visión dinámica,
- Efectos de la hipoxia: en aviones comerciales con cabina presurizada la tasa baja de oxígeno es muy pequeña; sin embargo, en aeronaves no presurizadas-vuelo de

recreo, aviones antiguos-, dependiendo de la cota de altitud y del tiempo de permanencia, la hipoxia hipobarica puede modificar parámetros oftalmológicos tales como el campo visual o la adaptación retiniana a la oscuridad.

-Aceleraciones: a consecuencia del cambio brusco de dirección del avión, el piloto puede experimentar perturbaciones en la visión por efecto de las grandes aceleraciones.

En el pilotaje de aeronaves, una función esencial es la orientación en el espacio tridimensional. En situaciones inferiores a +1Gz de aceleración,-G representa la aceleración de 9.8 mts./seg. que experimenta un cuerpo al caer libremente en el vacío-, el ser humano se orienta en el espacio mediante la propiocepción originada en los receptores situados a nivel de los músculos, los tendones y las articulaciones, a través del sistema vestibular- canales semicirculares del oído interno- pero, fundamentalmente, a través de la información visual.

En virtud del papel desempeñado por la visión, se clasifica el vuelo en dos tipos: "*vuelo instrumental*", cuando el piloto dirige la aeronave básicamente apoyado en los instrumentos, y "*vuelo visual* ", las veces que el piloto utiliza sus facultades visuales para orientarse en el espacio, dirigir la trayectoria de la aeronave y calcular las distancias. Esta percepción espacial cobra su máximo valor durante las maniobras de despegue y, sobretodo, en los aterrizajes.

Desde esta perspectiva, se señalan a continuación las diferentes funciones visuales imbricadas en el vuelo, - particularmente centrados en el vuelo comercial,- interrelacionando los datos anatomo- funcionales con las características del medio aeronáutico.

1.- Recuerdo anatomo-funcional:

Se acostumbra a considerar el ojo humano, desde un punto de vista óptico, como una cámara fotográfica: posee un objetivo, la lente cristaliniana, un diafragma, constituido por el sistema muscular del "iris", un ajuste del enfoque que corresponde al músculo ciliar, una cámara oscura: la cámara posterior, - ocupada por el humor vítreo-, y un elemento receptor sensible, representado por la retina. (**FIGURA 1**)

El dioptrio ocular o sistema refractivo esta constituido por la "cornea", -área traslúcida situada en la porción anterior del globo ocular-, el "humor acuoso" que ocupa la cámara anterior, - espacio existente entre la superficie posterior de la cornea y la lente cristaliniana, el "cristalino",-ópticamente una lente biconvexa-, y el "humor vítreo" un gel anhisto que ocupa la cámara posterior.

La pupila, constituida por el iris, regula constantemente la cantidad de luz que penetra en el ojo, haciendo que en cada caso sea, dentro de lo posible, la más adecuada al grado de sensibilidad de la retina en un momento dado.

La precisión y exactitud de la imagen depende, haciendo caso omiso de los defectos de refracción, del grado de contracción de la pupila, - el diafragma natural del ojo- y del sistema de enfoque o *acomodación*, que es función de las modificaciones en su convexidad que experimenta el cristalino por la acción del músculo ciliar.

El poder de acomodación disminuye gradualmente con la edad originando el fenómeno de la *presbicia*. Esta se presenta de modo habitual entre los 40 y 45 años.

Cuando enfocamos de cerca tiene lugar lo que se conoce como "*sinquinesia* de los mecanismos de acomodación convergencia"; esto quiere decir que al mirar un objeto próximo, el ojo acomoda el enfoque a esa distancia y, al mismo tiempo, la pupila se contrae y los ojos convergen hacia el objeto. El desequilibrio de estas funciones constituye una causa de *astenopia* (astenopia acomodativa).

En la visión proxima interviene el mecanismo de la *convergencia* para obtener una imagen unica y enfocada de los objetos próximos.

La *retina* tapiza, por así decir, la superficie interna del ojo. Contiene dos tipos de células sensibles a la luz: a) los *conos*, que ocupan el área central,-denominada *mácula* por su característica coloración-, fotorreceptores responsables de la visión diurna y del reconocimiento de los colores; b) los *bastones*, situados en la zona paramacular y periférica de la retina, son los elementos fotosensibles que posibilitan la apreciación de objetos en movimiento dentro del campo visual así como la visión en condiciones de baja luminosidad (visión nocturna). (**FIGURA 2**) Desde el punto de vista fisiológico, es de destacar como los conos situados en el área central de la retina establecen sinapsis con una sola célula bipolar y disponen de una representación individualizada en la corteza cerebral; por el contrario, los bastones establecen contactos con varias células bipolares- elementos de interconexión-, hasta el punto de que en la periferia de la retina se pueden observar hasta 7 bastones conectando con una célula bipolar. Esta distribución explica las diferentes características de la *visión diurna*: conos densamente agrupados pero no interconectados-, responsables de la máxima agudeza visual- y de la *visión nocturna*: elementos celulares ampliamente distribuidos e interconectados para un máximo aprovechamiento de niveles bajos de luminosidad.

Cuando la luz incide sobre la retina, actúa como un excitante de las terminaciones nerviosas sensoriales. Los conos contienen tres tipos diferentes de pigmentos visuales, las *cromopsinas*; los bastones el pigmento *rodopsina*. Cuando un fotón incide sobre el pigmento visual, lo descompone en sus dos componentes: retineno-provitamina A- y opsina. Esta reacción química genera un cuanto de energía. Si se genera una cierta proporción de energía, esto es, si suficientes fotones estimulan suficientes moléculas de pigmento visual, se estimulan los elementos celulares y por vía del nervio óptico es enviada una "señal luminosa" al cerebro para ser procesada; su resultado es la imagen mental de un objeto real.

2.- Requisitos visuales

La compleja función de pilotaje tiene como correlato toda una serie de requisitos visuales. Revisaremos a continuación sus aspectos más interesantes:

2.1.- Agudeza visual

La capacidad del ojo para reconocer cambios en los contornos y distinguir pequeños objetos, pequeños detalles separados, se conoce como *sentido de las formas* y su expresión numérica *agudeza visual*. Constituye el parametro visual por excelencia. La agudeza visual viene expresada por el "mínimo separable", o mínima separación angular entre dos puntos susceptibles de ser percibidos como distintos. Este valor se ha fijado empíricamente y por razones practicas en 1 minuto de arco. La agudeza visual se expresa numéricamente con una fracción cuyo numerador representa la distancia del paciente al test de "optotipos"- en nuestro país 5 mts., en países anglosajones: 20 pies (6mts)-, y el denominador la distancia a la que dichos optotipos

serían vistos por una persona con una agudeza visual "normal" o standard. (10/10, 60/60; 1).

En el medio aeronáutico, es frecuente que los pilotos posean agudezas visuales superiores (1.5, 1.75, 2) al valor 1, considerado "*visión normal*", un dato que ratifica la alta performance visual implicada en el vuelo.

Las reglamentaciones aeronauticas toleran en los aspirantes a piloto ciertos grados de defecto de refracción e indican en los casos que lo requieran la necesidad de hacer uso de lentes correctores y contar con lentes de repuesto. (ver capítulo 10.)

Requisitos visuales (Normativa europea JAR)

Clase 1= piloto comercial: La agudeza visual lejana, con o sin corrección visual debe ser de 6/9 (20/30,07) o mejor, con cada ojo por separado, y de 6/6 (20/20,1.0) en visión binocular.

Clase 2= piloto privado: La agudeza visual lejana, con corrección o sin ella debera ser de 6/12 (20/40,0.5), con cada ojo por separado y de 6/ (20/20,1.0), con ambos ojos. No existen limites de agudeza visual sin corrección.

Las reglamentaciones aeronauticas toleran ciertos grados de defecto de refracción:

-miopías o hipermetropías que no excedan de +-3 Dioptrias, en licencias para piloto comercial; +-5 Dioptrias, en el caso de licencias para piloto privado.

-los astigmatismos no pueden ser superiores a +-2Dioptrias (clase 1) o +-3D (clase 2).

-En el caso de existir *anisometropía*, -diferente refracción entre ambos ojos-,la diferencia de valor dióptrico entre ambos ojos no podrá ser superior a 2 Dioptrias. (+-3D para Clase 2).

En lo que respecta a la visión proxima, el aspirante deberá ser capaz de leer el test de lectura N-5 (o equivalente), dispuesto a una distancia de 33 cm. y el test N-14 a la distancia de 1 metro, con corrección cuando se precise.

El uso de lentillas, un tema controvertido hace años por considerar la posibilidad de su desprendimiento del ojo en casos de despresurización. Sin embargo, están autorizadas.

La cirugía refractiva (técnica LASIK) representa un gran avance en Oftalmología. Permite corregir defectos de refracción hipermetrópicos, miopías (miopías con valores dióptricos superiores incluso a 6D , y ciertos casos de astigmatismo).

Las siglas LASIK, definen la técnica: "Surface Intraestromal ablation with Excimer Laser". Básicamente consiste en la ablación por medio de Laser de tejido corneal estromal, previo levantamiento de una porción muy superficial de epitelio por medio de un microqueratotomo. De esta forma se preserva intacta la superficie corneal.

El cambio tisular modifica el radio de curvatura corneal, modificando a su vez el poder dióptrico.

Los resultados son, en general, satisfactorios (complicaciones en torno al 2%); pero aún se desconocen los efectos secundarios que pudieran acontecer a largo plazo.

La Normativa en vigor JAR-FCL, establece la NO APTITUD de candidatos a Licencia de Vuelo comercial que hayan sido intervenidos de cirugía refractiva.

Solo en caso de un reconocimiento periódico Clase 1 o Clase 2, inicial o periódico, las autoridades aeronauticas pueden considerar al piloto APTO, 12 meses después de la intervención, si el aspirante cumple los siguientes requisitos: defecto de refracción antes de la intervención $< a 5 D$, variación diurna de la refracción $< a 0.75D$, no incremento de la sensibilidad al deslumbramiento.

El Problema de la Monocularidad

Las personas que disponen de un solo ojo, tienen, consiguientemente, una serie de limitaciones para el vuelo.

- Percepción de la distancia y del relieve en base a referencias exclusivamente monoculares.
- Campo visual reducido
- Incremento del riesgo de incapacitación súbita, de sucederle alguna afección o accidente en el ojo funcionalmente útil

Estas razones descartan la posibilidad de ejercer como piloto profesional al sujeto monocular.

Los Pilotos poseedores de una licencia de vuelo que padezcan una alteración visual importante en un ojo ($AV < 0,25$), podrán ser calificados como APTOS, previo informe de un Especialista Acreditado, siempre y cuando el ojo contralateral satisfaga todos los requisitos de la Normativa, y una vez demostrada destreza suficiente en una prueba en vuelo. La Licencia emitida en estos casos, es restrictiva a "vuelo politripulado", es decir, el piloto en cuestión irá acompañado de Comandante o Copiloto cualificado.

2.2.- Corrección óptica de la Presbicia

El sistema visual del piloto requiere disponer de una amplia y rápida amplitud de acomodación para enfocar de cerca. En el caso de una disminución del poder acomodativo por la edad o presbicia, se precisa disponer de una corrección óptica ajustada a varias distancias de visión:

- Vision lejana, en caso de precisarse corrección para lejos.
- Vision intermedia: lectura de instrumentos en el tablero frontal
lectura de instrumentos situados en el tablero superior
- Vision proxima: lectura de textos y cartas de navegación.

La distancia proxima de lectura, 33-40 cm, requiere un poder de acomodación entre 1.8 y 2.3 D; en tanto que para la distancia de instrumentos, situados entre 100 a 117 cm, se requiere un poder de acomodación de 0.73 a 1.64 D. Consecuentemente y dependiendo de las características refractivas del sujeto, pueden estar indicados:

- lentes correctores simples para lejos
- lentes correctores simples para cerca
- lentes correctores para cerca y para la lectura de instrumentos
- lentes correctores para lejos y para la lectura de instrumentos
- lentes multifocales
- lentes bifocales: lejos-cerca o cerca e instrumentos
- un solo par de lentes para todo uso.

Los lentes tipo Franklin, de montura reducida que permiten la visión lejana por fuera del lente, resultan muy prácticas cuando solo se requiere corrección para visión próxima.

Algunas lentes progresivas han sido confeccionadas de modo específico para aviación, disponiendo en su porción superior de un segmento con corrección para visión próxima, específico para la visión del panel superior de instrumentos.

2.3.- Agudeza visual dinámica:

Las altas cotas de velocidad de los aviones modernos exigen disponer, particularmente en los momentos del aterrizaje, de una agudeza visual, no solamente estática sino dinámica, eficaz en el tiempo. Esta capacidad está íntimamente relacionada con los tiempos de reacción (tiempo ojo-mano) y de percepción óptica. Los valores de este parámetro varían según los autores. En general, el tiempo transcurrido entre la mirada al panel y el reenfoque al horizonte es del orden de 1.100 msec±10. (ver Fig. 3).

El análisis de la dinámica de la visión en situaciones de presunta colisión muestra que para efectuar una maniobra eficaz de evitación se requiere disponer de al menos 7 seg., entre el instante en que el piloto toma conciencia de la existencia de una aeronave que se dirige hacia él y el momento en que una rápida reacción psico-motriz le permite aplicar los procedimientos para un cambio de rumbo. Teniendo en cuenta esta latencia sensorio-motriz se ha estimado que para una velocidad de 1000 Km/h, los pilotos de 2 aviones que se dirigen frontalmente podrán evitar una colisión si se aperciben con un margen de separación de al menos 7 millas. Si la presunta aeronave se encuentra situada a 45° respecto al eje de visión, la percepción del objeto sucede cuando se encuentra a 2 millas de distancia. De encontrarse a 60° del eje frontal, la distancia de reconocimiento se reduce a media milla aproximadamente. Estas diferencias muestran la eficacia de la retina central -fijación macular- en el acto perceptivo.

En relación a la performance visual del piloto, se ha estudiado el comportamiento de los *movimientos saccádicos*. (Aschoff 1974). Se trata de movimientos oculares involuntarios, no perceptibles sin la ayuda de medios instrumentales, intermitentes, -intervalo mínimo del orden de unos 20 m/seg.- y rápidos, -pueden alcanzar una velocidad de 600°/seg.-, surgidos al fijar la vista sobre objetos fijos o sobre objetos fijos y en movimiento. La celeridad de estos movimientos traduce muy bien la performance del acto visual perceptivo. Se ha podido comprobar que durante el aterrizaje se realizan un mínimo de 100 movimientos saccádicos por minuto. Tal circunstancia coloca al aparato ocular en el tope de su rendimiento. Puesto que los movimientos oculares saccádicos son involuntarios, no se pueden entrenar, únicamente el adiestramiento y la experiencia pueden facilitar el acto perceptivo.

Diversos factores pueden interferir estas respuestas oculares; uno de ellos es la influencia de los ritmos circadianos que determinan como momentos óptimos para la percepción visual el mediodía y las primeras horas de la tarde. La celeridad de las

"saccades" declina hacia la media noche. Hacia las 3 horas de la madrugada las saccades oculares llegan a reducirse en un 50 %, incluso cuando previamente a las determinaciones se ha intercalado una fase de sueño.

Efecto del alcohol

Es bien sabido que el alcohol influye negativamente en la actividad oculomotora, de forma que 20` después de la ingesta de un decilitro de aguardiente de 45°, la velocidad de las saccades se reduce aproximadamente en un 20%. La agudeza visual y el sentido luminoso (sensibilidad del ojo a la luz) decrecen cuando existen en sangre concentraciones de alcohol superiores a 1/1000. Los medicamentos tranquilizantes (benzodiazepinas) originan un detrimento similar de los movimientos saccádicos; sin embargo, algunos psicofármacos como el Sulpiride están exentos de estos efectos. Todos estos detalles tienen interés en materia preventiva, tanto en lo concerniente a la regulación de la ingesta de alcohol en pilotos como en el diseño de las programaciones de vuelo.

3.- Campo visual.

Se define como el espacio abarcado por el ojo en fijación directa, esto es, sin el concurso de los movimientos oculares. La integridad del campo visual tiene especial importancia en aviación. Un piloto debe darse cuenta de la aparición de otras aeronaves, de una señal de peligro, o de la presencia de un objeto en tierra, al tiempo que fija sus ojos en los instrumentos o en un mapa. La normativa exige, por tanto, que, se disponga de campos visuales normales.

Los límites del campo visual normal dependen de varios factores: de forma absoluta, de los relieves faciales-nariz, arco superciliar-, de forma relativa, de la intensidad luminosa, del tamaño de estímulo empleado y de su contraste con respecto al fondo sobre el que se proyecta. Tales circunstancias han de tenerse en cuenta para su exploración.

Los límites absolutos del campo visual son aproximadamente de 90° en zona temporal, 60° en área nasal, 75° en área inferior y 60° en área superior.

Se ha señalado como algunos factores aeronáuticos pueden interferir el campo visual:

- las ventanillas de las aeronaves son por lo común angostas y pueden, por tanto, limitar el campo visual útil.
- el morro de la aeronave puede reducir la percepción al frente.
- interferencia lateral por presencia de otros miembros de la tripulación.
- el mando del timón o la propia montura de lentes pueden influir en el campo de visión.

4.- Exploración del entorno:

La visibilidad de un objeto depende de su propia luminancia - si es de tonalidad clara u oscura-, de su iluminación -cantidad de luz que lo ilumina- de la duración de la percepción y de las condiciones ambientales- bruma, calima, etc.

En la altura, a partir de 10.000 mts. , al hacerse la atmósfera menos densa, cambian las condiciones de nuestra visión. Sin el filtro de las nubes, la luminosidad ambiental es intensa. Normalmente estamos acostumbrados a recibir la luz de la altura pero ahora la recibimos de todo el entorno, sobre todo la que se refleja en el suelo de nubes

sobre el que volamos. De esta circunstancia se derivan fenómenos de reverberación. Entre el exterior y la cabina existe a menudo un fuerte contraste luminoso, pudiendo interferir con la visualización de instrumentos que comportan pantallas de rayos catódicos y de cristal líquido.

En sus tareas profesionales el piloto aeronáutico no solamente debe ser capaz de percibir un numeroso y complejo cúmulo de información, de escudriñar concienzudamente el espacio aéreo, sino también de adaptarse a condiciones muy variadas de iluminación: penumbra de los amaneceres o del crepúsculo, baja luminosidad en condiciones de niebla o de un cielo entoldado, o en el extremo contrario, la reflexión luminosa cuando se sobrevuela superficies nevadas o la intensa concentración luminosa de una puesta de sol. En virtud de estas circunstancias, los cristales anáctinos cobran para el piloto el carácter de una herramienta de trabajo.

5.- Las gafas de sol en el medio aeronáutico

Las gafas de sol atenúan el fuerte contraste existente entre el espacio exterior y el habitáculo de cabina; previenen la fatiga visual que genera el deslumbramiento pero, aparte de proporcionar una visión confortable, tienen el valor fundamental de proteger al aparato ocular de radiaciones potencialmente lesivas: ciertas bandas de luz ultravioleta y la radiación infrarroja de efecto térmico.

En la (**FIGURA 4**) se representa el conjunto de radiación electromagnética solar. Las radiaciones no visibles, ultravioleta (UV) e infrarrojo (IR), han sido clasificadas por su longitud de onda y efectos biológicos del modo siguiente:

- Radiación UV C (100-280 nm) es absorbida prácticamente en su totalidad por las capas altas de la atmósfera y la que alcanza el nivel terrestre es absorbida por materiales transparentes. En aviación es muy improbable la exposición a esta radiación. Su efecto biológico queda confinado a la piel, la cornea y la conjuntiva donde produce la lisis celular a nivel superficial, pues son radiaciones de escasa penetración. Las radiaciones UV C son emitidas por los Laser excimer utilizados en cirugía fotorrefractiva.

- Radiación UV B (280-315 nm), UV de corta longitud de onda. Tiene más poder de penetración que la radiación C. Es la responsable de procesos inflamatorios en párpado y conjuntiva, tipo fototraumatismo por soldadura o la conjuntivitis actínica "de las nieves".

-Radiación UV A (315-400 nm), es absorbida por la cornea y, asimismo, por el cristalino. Ciertos trabajos de investigación indican que, una exposición prolongada a esta radiación, del orden de unos 10 años, puede generar cataratas.

-Radiación infrarroja A (760-1400 nm), al igual que la luz visible es refractada por el dioptrio ocular y al incidir en la retina, puede originar quemaduras. Muy característica es la quemadura en la retina central que se produce al contemplar sin protección un eclipse solar.

El porcentaje de radiación UV a nivel terrestre, un 2%, se incrementa con la altura al reducirse el filtro natural representado por el vapor de agua, de forma que en zonas altas de la atmósfera el porcentaje de UV corresponde a un 5-6 %; sin embargo, el parabrisas de las aeronaves absorbe prácticamente estas longitudes de onda.

Las gafas ideales para el piloto deben permitir un máximo de agudeza visual, realzar el contraste y permitir diferenciar convenientemente las tonalidades. Para

garantizar la atenuación de las máximas luminosidades que puedan surgir en el vuelo, deben poseer una transmitancia de un 15 a un 25 %- y una densidad óptica del lente entre 0.8 y 1. La absorción de radiación infrarroja debe ser aproximadamente de un 60%. , la absorción de radiación UV entre un 75 a un 80 %.

Se recomienda que los lentes utilizados sean de un tinte gris para no distorsionar la visión de los colores de que están dotadas las pantallas de los instrumentos.

Las lentes de policarbonato (CR-39), por su resistencia al impacto y reducido peso son muy utilizadas por los pilotos. Estos cristales orgánicos absorben la radiación infrarroja a diferencia de los filtros de material plástico que carecen de esta propiedad.

Las monturas deben ser resistentes, las de ancha conformación resultan idóneas para evitar la radiación reflejada.

Los cristales fotocromáticos que tienen la propiedad de cambiar de densidad, tono y poder de absorción en función de la luz ambiente, se desaconsejan en aviación tanto por su limitada absorción-25, 30%- como por depender sus propiedades de la temperatura.

Los lentes polarizados resultan de utilidad como antirreflejantes-y se muestran útiles en navegación marítima o exposición a la nieve, situaciones en que existe luz solar reflejada. No obstante, en aviación han sido proscritos por la interferencia que se puede producir entre la polarización de la gafa y la que poseen algunos parabrisas.

Se recomienda a los pilotos prescindir de las gafas de sol en condiciones de baja intensidad luminosa, dentro de los edificios o de noche, evitar mirar directamente al sol, incluso con filtros solares, o permanecer en una exposición solar intensa, p.e. en una playa, sin una protección.

6.- El fenómeno de la Miopía espacial

La ausencia de objetos en el horizonte o las situaciones de bajo contraste (bruma, smog, baja visibilidad) pueden dar lugar a lo que se conoce como miopía espacial, situación en la cual el ojo, ante la ausencia de objetos de fijación se desacomoda , deja de estar enfocado y la refracción pasa a hacerse miope, en torno a -1 Dioptrías. Un comportamiento del ojo similar se produce en vuelo nocturno, cuando el ojo tiene delante de sí una masa negra sin objeto alguno al que enfocar, es la llamada miopía nocturna, durante la cual el ojo se miopiza en torno a -0.75,-1D. Para evitar esta posible incapacitación se recomienda a los pilotos mantener sus ojos enfocados, verificando de tiempo en tiempo los instrumentos. En ambos casos falta el contraste de luces y sombras, de tamaños relativos, de contraste, de coloridos que intervienen en la conformación del acto de la visión.

7.- Visión nocturna

Las nociones teóricas relativas a la visión en condiciones de nocturnidad son muy importantes para el aviador. Como ya anticipábamos, la visión nocturna en condiciones de baja luminancia depende del funcionamiento de las áreas periféricas de la retina, donde se localizan los fotorreceptores conocidos como "bastones".

Para que la percepción visual sea óptima, en vuelo nocturno se recomienda a los pilotos formas de fijar la mirada basadas en la fisiología:

*dirigir la mirada algo lateralizada a los objetos o puntos a distinguir, de forma que, eludiendo la fijación central macular, inoperativa en bajas condiciones de baja iluminación, se formen las imágenes en las áreas periféricas de la retina. (**Figura 5**)

Cuando se trate de visualizar alguna luz u objeto en el horizonte, no dejar fija la mirada sino hacer pequeños recorridos del espacio-visual -scanning de los angulosajones- de unos 10° de excentricidad, ya que los bastones de la retina captan mejor el estímulo cuanto más amplias son las áreas estimuladas. Se trata, pues, de técnicas efectivas para el pilotaje, particularmente empleadas en vuelo militar.

La adaptación sensorial de la retina a la obscuridad es un proceso lento que culmina al cabo de 30 a 45 min. Para favorecer la adaptación se recomiendan las siguientes medidas:

- evitar la inhalación de monóxido de carbono- fumar tabaco.
- inclusión de la Vitamina A en la dieta
- ajuste de la iluminación en cabina a niveles bajos
- evitar la exposición a luces intensas. Si se guiña un ojo al encender un punto de luz se puede conservar el otro ojo adaptado a la obscuridad.
- utilización de oxígeno suplementario cuando se sobrevuela en aeronave no presurizada la cota de 5000 pies.

La exposición de día a fuertes luminancias, por ejemplo, a la luz solar, durante un tiempo prolongado, puede dificultar la adaptación al vuelo nocturno.

Las luces de posición y anticollisión de las aeronaves emiten sus flashes con una intermitencia inferior a 1 seg. con el fin de evitar el deslumbramiento y la interferencia en la adaptación visual a la obscuridad.

La fatiga visual apreciada por algunos pilotos en vuelo nocturno puede ser atribuida a los siguientes factores:

- La visión y la discriminación de los colores se reduce bajo niveles bajos de iluminación, como es el caso en cabina.
- La pupila se dilata dificultando el enfoque de cerca.

8.- Visión binocular

En Medicina Aeronáutica ha cobrado interés el estudio de la visión binocular, no tanto por su imbricación en la percepción del relieve y en la apreciación de las distancias sino, sobretudo, por la repercusión que tiene en el confort y en la fatiga visuales.

La motilidad ocular depende de la acción de 6 músculos en cada ojo: músculos rectos superiores e inferiores, rectos medios y externos y músculos oblicuos. La coordinación de los movimientos oculares para la obtención de una imagen única en cada posición de la mirada, es función de la correspondencia existente entre los elementos sensoriales de cada retina (correspondencia retiniana).

Se dice que una persona posee "*ortoforia*" cuando ambos ojos se dirigen sin esfuerzo a un punto de fijación; esta condición depende de diferentes factores tanto anatómicos como fisiológicos (asimetrías orbitarias, tamaño del globo ocular, proporción globo- órbita, tono muscular y refracción ocular).

Se clasifican como "*heteroforias*" aquellos estados de equilibrio oculo motor susceptibles de originar síntomas: visión borrosa, apreciación de diplopia, fatiga visual, dolor de cabeza. Es por ello que los requisitos aeronáuticos incluyen valores límite de heteroforia. (ver capítulo 10)

La dirección de la desviación, permite clasificar las heteroforias en:

- *exoforias: tendencia a la divergencia de los ejes visuales.
- *endoforias: tendencia a la convergencia.
- *hiperforias: tendencia a la desviación vertical.
- *cicloforias: tendencia a la desviación rotacional.

Las heteroforias pueden manifestarse en la visión lejana o en visión próxima, pueden cursar de forma sintomática (*heteroforias compensadas*) o generar síntomas (*heteroforias descompensadas*). La *capacidad para la fusión*, que se explora con el sinoptóforo y/o las barras de prismas, permite establecer si un determinado valor elevado de heteroforia es compatible o no con los requerimientos aeronáuticos.

9.- Percepción de profundidad

Cuando los ojos son normales desde un punto de vista binocular, el individuo ve claramente con cada uno de ellos al objeto que mira. Las imágenes formadas en cada ojo no son, sin embargo, idénticas. Ello es debido a la distancia que separa ambos globos oculares. Si miramos a un cuerpo sólido, por ejemplo, un cubo, el ojo derecho ve un poco más del lado derecho del objeto y viceversa. Esta circunstancia se conoce como fenómeno de paralaje. (**FIGURA 6**). Las imágenes de cada ojo, discretamente distintas, son fusionadas a nivel cerebral originando una imagen tridimensional.

. La visión binocular proporciona el sentido de la *stereopsis* en distancias cortas hasta una distancia aproximada de 40 pies (200 mts). A distancias mayores de observación, como es el caso de la percepción del espacio por el piloto, la percepción de la distancia y el relieve se basa en referencias monoculares:

Referencias visuales:

*Variación de tamaño y perspectiva de la pista.- Constituye uno de los datos más fundamentales, según demuestra la encuesta elaborada por Riordan (1974). En cada momento del aterrizaje, el piloto percibe cambios de tamaño y forma de la pista que se le presenta como un espacio trapezoidal. En virtud de la perspectiva geométrica, las líneas tienden a aproximarse en el horizonte. Recuérdese la perspectiva de las carreteras, de las vías de tren; del mismo modo, ello da lugar a ese aspecto trapezoidal de la pista de aterrizaje; su forma y dimensión varía conforme discurre la aproximación. (**FIGURA 7**)

En esta apreciación también interviene la referencia dada por el tamaño aparente de los objetos. En virtud del conocimiento que se tiene sobre el tamaño real de los objetos. se puede inferir, según las variaciones en su tamaño aparente, la distancia a la cual se encuentran del observador. En Aeronautica esta referencia se fundamenta en el ángulo que subtende la imagen retiniana del terreno de pista. Este factor muestra la importancia de la experiencia en cuanto al conocimiento previo de las pistas y del entorno próximo a las mismas.

* Paralaje de movimiento: Se trata de una sensación subjetiva originada por el movimiento relativo de los objetos cuando el observador está en movimiento. Es muy patente cuando se viaja en coche o ferrocarril y se ven moverse rápidamente los

postes del teléfono en el sentido contrario a la marcha del viajero. En el ámbito aeronáutico, los aviones que vuelan próximos se les ve pasar muy rápidos, por el contrario, los objetos distantes muestran un movimiento mucho más lento. Los movimientos de la cabeza del observador- recuérdese el ejemplo de la mirada torva de las gallinas-, permite por este mecanismo obtener una información de la distancia.

*Perspectiva cinética: el movimiento de los objetos en la zona paramacular y en la periferia de los campos visuales proporciona información de la velocidad y la altitud, esta especie de "corriente de objetos"- streaming effect de los anglosajones- es función de la velocidad angular relativa de los objetos en el campo de la mirada.

Otros elementos indicadores de la distancia resultan más imprecisos e inconstantes, entre los mismos cabe citar:

*Perspectiva aérea: en virtud de la difracción experimentada por la luz al pasar a través de las moléculas de vapor de agua y de las impurezas de la atmósfera, los objetos situados en la lejanía adquieren una tonalidad azulada y se desdibujan sus contornos. Suministra un dato de la distancia.

*Ocultamiento y superposición de objetos: un objeto que se antepone a otro se encuentra obviamente más cerca del observador.

*-Perspectiva de iluminación (efecto de luces y sombras): las sombras generan la sensación de profundidad, efecto muy utilizado en cine y fotografía. Cuando se sombrea un dibujo se obtiene este mismo efecto.

*-Proximidad al horizonte: los objetos situados en la lejanía se perciben más próximos al horizonte, en tanto que los objetos en proximidad se perciben más distantes del horizonte. Constituye un dato importante en aviación.

Evidentemente, los datos monoculares para la visión del espacio tridimensional mencionados, no se dan aisladamente sino de una manera integrada.

Pilotos monoculares han demostrado capacidad suficiente para realizar aterrizajes con exactitud y buena performance.

10.- Percepción visual durante el aterrizaje

La aproximación comienza cuando la aeronave se encuentra a unas 10 millas de la pista de aterrizaje, a una altura de unos 5000 pies. En esta fase del vuelo, la aeronave debe seguir la "senda de planeo", trayectoria de descenso que forma en el punto teórico de contacto con pista un ángulo de $2.5-3^{\circ}$. Un descenso normal suele efectuarse a una velocidad aproximada de unos 145 nudos, aproximadamente 270 Km./hora. En 3 segundos se recorren 700-800 pies. A esta velocidad, el piloto puede inspeccionar un área de unos 500 m², haciendo un movimiento angular no superior a $10^{\circ}/\text{seg}$. Durante esta operación, el piloto evalúa momento a momento, el rumbo, la altura, la potencia de motores y, lo que a nosotros más nos interesa, la distancia a la que se encuentra del punto de aterrizaje.

Indefectiblemente, aún en las condiciones de vuelo con las mayores ayudas instrumentales, en el momento en que el avión ha de contactar con el terreno, el piloto

debe pasar de la observación de instrumentos a un reconocimiento visual de la pista para efectuar el aterrizaje ajustado a unas condiciones óptimas.

10.1.- Ilusiones visuales. Errores de percepción

En aviación, diversos factores pueden interferir con la percepción adecuada del entorno y condicionar por tanto la seguridad del vuelo.

*Condiciones atmosféricas tales como la calima, el humo, la bruma, la lluvia o la nieve puede dar lugar a una sobre estimación de la distancia, pareciendo estar la pista de aterrizaje más distante de lo que realmente se encuentra; el piloto puede creer encontrarse a mas altura de la real. El caso opuesto correspondería a condiciones atmosféricas muy diáfanos, como en el caso de una zona aeroportuaria situada en una cota de altitud elevada; en este caso pueden infraestimarse los datos de distancia y efectuar una aproximación excesivamente elevada.

*Dimensiones de la pista: La capacidad para integrar los datos visuales con la experiencia previa, no esta exenta de error, particularmente cuando se realizan aterrizajes sobre pistas cuyas dimensiones difieren de las habituales. Generalmente las pistas utilizadas para vuelo comercial tienen 45mt (150 pies) de anchura y una longitud de 2-3 Km. (7000-10.000 pies). Cuanto más ancha es una pista mas sensación da de ser corta y a la inversa. El aspecto de pista ancha modifica la estimación de la altura, de forma que ante una pista de apariencia ancha, el piloto puede creer que vuela mas bajo de la realidad. Tenderá, por tanto, a realizar un aterrizaje "corto". Inversamente, si la aproximación es a pistas de ancho mas reducido, el piloto creerá encontrarse a mayor altura de la real y, consecuentemente, realizara un aterrizaje "largo", una aproximación que sobrepasa en altura las condiciones idóneas. (**FIGURA 7**)

*Configuración del terreno: las aproximaciones sobre superficies de agua, desiertos o nieve, pueden resultar problemáticas, incluso disponiendo de buena visibilidad. La ausencia de referencias altitudinales externas dificulta la estimación de la altura determinando que el piloto tenga la ilusión de encontrarse a una mayor altura de la real, y tienda a realizar un descenso prematuro o excesivamente rápido. El aterrizaje en pistas con terreno nevado en proximidad, dificulta la evaluación por ausencia de contrastes. El problema se agrava si el descenso se realiza con sol de frente o bajo otro tipo de condiciones que pudieran reducir la visibilidad.

La sobreelevación o la infraelevación del terreno próximo a la pista es susceptible de originar errores de percepción.

Los terrenos previos a la pista en pendiente pueden determinar una falsa apreciación de la altura. Otro tanto ocurre en el caso de pistas no perfectamente horizontales, Cuando se trata de "pendiente positiva": pista o terreno en ascenso, el piloto puede creer encontrarse a mas altura de la real y efectuar, por tanto, un descenso mas pronunciado de lo normal, lo que se conoce como "aterrizaje corto"; cuando se trata de pistas o terrenos con "pendiente negativa", en descenso, la circunstancia propicia un "aterrizaje largo". En ambos casos puede ser preciso remontar el vuelo.

*Iluminación de las pistas: La obscuridad supone una importante limitación, puesto que las exiguas referencias visuales -luces del terreno y del balizaje-no permiten una valoración de la velocidad y de la distancia tan neta como en condiciones diurnas. Entre las posibilidades de error cabe citar el hecho de que las pistas dotadas de

iluminación intensa tienden a dar la impresión de encontrarse más próximas, en tanto que las iluminaciones mas atenuadas dan la impresión de encontrarse más distantes.

*Ilusión del "agujero negro": Cuando de noche una aeronave desciende hacia la pista sobrevolando una superficie marina o un terreno no iluminado y, sobretodo si el terreno previo a la pista tiene una pendiente positiva, el piloto puede estimar su altitud a un nivel mas bajo del real y llevar a cabo un aterrizaje corto. En este caso, la ausencia de referencias visuales en proximidad hace que el piloto se guíe por las luces iluminadas situadas mas allá del umbral de la pista. (**FIGURA 8**)

Los accidentes aéreos que acaecen en vuelo nocturno durante la aproximación suelen ser debidos a la realización de un descenso bajo y un aterrizaje corto. Estudios llevados a cabo en simulador, ateniéndose a datos estrictamente visuales, muestran que en condiciones de aproximación carentes de areas iluminadas en el terreno próximo a la pista, particularmente en la aproximación sobre superficies de agua, la trayectoria descrita por la aeronave conforma una parábola de convexidad inferior, lo cual supone un vuelo precozmente bajo.

*Efectos de la lluvia sobre el parabrisas

Las condiciones de lluvia intensa pueden interferir la percepción de la distancia al desdibujar las luces del balizaje de pista haciendo que su fulgor resulte menos intenso. Puede generar la ilusión de que las luces se encuentran más distantes del observador. Asimismo, un salpicado de gotitas de lluvia sobre el parabris puede hacer que las luces de pista resalten y parezcan duplicar su tamaño aparente con el resultado de que el piloto puede juzgar que se encuentra mas cerca del umbral de pista de lo que esta en realidad, propiciando un descenso precoz. De otra parte, las gotas de lluvia sobre el parabrisas al difractar la luz pueden generar diversas ilusiones ópticas: por ejemplo, aún cuando una aeronave se encuentre perfectamente alineada en la senda de planeo, el piloto puede tener la impresión de encontrarse por encima o por debajo de la senda adecuada, o descentrado a la izquierda o a la derecha del eje de pista, dependiendo de la inclinación del parabrisas y de otros, factores. El error aparente puede ser del orden de unos 200 pies a una distancia de una milla del umbral de pista.

*Bruma, calima, polución atmosférica: Al descender bajo tales condiciones puede acontecer que las referencias visuales se pierdan o disminuyan rápidamente en un momento dado, reduciéndose consecuentemente el segmento visualizable de pista.

Con el fin de obviar el conjunto de estas ilusiones y errores de percepción la instrucción Aeronautica hace énfasis en que el piloto se guíe siempre por los datos instrumentales.

10.2.- Limitación de la visibilidad

Bajo condiciones de visibilidad limitada, el piloto recibe desde tierra información de las condiciones metereologicas en el terminal. La referencia conocida como RVR, *alcance visual en pista* constituye un valor aproximado del alcance visual que se prevee disponga el piloto en la proximidad del punto de aterrizaje.

En virtud de las ayudas existentes para el aterrizaje, las autoridades aeronauticas han clasificado los aeropuertos según 3 Categorías, las cuales incluyen varias subclases. Los valores standard oscilan desde 250 mts en la Categoría 1, 400 mts (Categoría 2), 600 mts (Categoría 3) hasta 1500 mts como valor máximo determinable por el sistema. Según la Categoría 1, forma común de aterrizaje, con un RVR mínimo

de 2400 pies, el piloto realiza las maniobras finales de aproximación a lo largo de una milla y media antes del contacto y una milla después del contacto, ya en rodaje por pista. El segmento visible mínimo aceptable corresponde al espacio comprendido entre 5 luces de pista, 150 mts.

11.- Hipoxia y visión:

La visión morfoscópica es el sentido que primero se altera por la disminución del aporte de oxígeno. Es sabido que a medida que se asciende en la atmósfera disminuye proporcionalmente la presión barométrica y de forma concomitante la presión parcial del oxígeno, tal circunstancia tiene diversos efectos sobre el ojo:

-Circulación de la retina: La retina es particularmente sensible al déficit de oxígeno. Cuando la cota de vuelo se encuentra por encima de los 3.500 mts se puede apreciar un aumento del diámetro de los capilares de la retina. A 5000 mts. esta reacción vicariante determina una vasodilatación arterial y venosa que otorga al fondo de ojo un aspecto cianótico característico. Estas modificaciones no alteran, sin embargo, la agudeza visual. Se trata de un proceso fisiológico de adaptación a las condiciones de hipoxia. Cuando la altura se alcanza de una forma rápida pueden aparecer hemorragias en la retina.

-Pupila: Es muy sensible a las situaciones de hipoxia. Cuando la hipoxia es moderada se origina una miosis; por el contrario, cuando la hipoxia es intensa el ojo presenta una midriasis. En vuelo a alturas de 7000 mts existe miosis, hecho que explica la existencia de una mejora de agudeza visual, a expensas, sin embargo, de una reducción del campo visual. A esa altitud, por efecto de la hipoxia, la adaptación luminosa resulta prolongada.

-Presión intraocular: por encima de 4000 mts experimenta un discreto aumento.

-Agudeza visual AV: La agudeza visual próxima es muy sensible a las situaciones de hipoxia ya que el poder de acomodación disminuye con la altitud. Asimismo, se afecta la interrelación acomodación/convergencia. Ocurre además un enlentecimiento de la velocidad de acomodación lejos-cerca. Como resultado de todo ello aparece una labilidad o fatiga visual que semeja los síntomas de la presbicia. La miosis que sucede en la hipoxia moderada mejora, como ya señalamos, la visión lejana.

-La sensibilidad al contraste empeora en alturas superiores a los 5000 mts. En cotas superiores a los 1200 mts. , en condiciones de baja luminosidad, -visión nocturna- la AV se reduce y, por encima de 5000 mts la AV baja. Ello explica la disminución de la AV próxima. La administración de oxígeno suplementario restablece rápidamente la AV durante los vuelos nocturnos.

La exposición a fuentes de luz intensas, por ejemplo encendido de luces de cabina, origina deslumbramiento lo cual puede precipitar un descenso de la AV, comprometiendo al mismo tiempo el campo visual, la stereo visión y la percepción de los colores. Tal circunstancia puede originar fatiga de los fotorreceptores con reducción concomitante de la sensibilidad al contraste.

-Visión cromática: resulta afectada por la hipoxia, a ello contribuyen los sistemas de visores y pantallas así como los sistemas NVG - visión por infrarrojos-, utilizados en operaciones militares.

-Campo visual. Se reduce bajo la hipoxia. Por encima de 4,000 mts se incrementa el escotoma centro cecal.

-Motilidad ocular. El aparato oculomotor es muy sensible a la hipoxia. Por efectos de la misma, se produce una incoordinación motora: la permanencia a 4000 mts durante aproximadamente 1 hora puede producir la descompensación de heteroforias superiores a 6D prismáticas, originándose visión borrosa e incluso diplopia. El poder de acomodación, asimismo, se reduce, originando visión borrosa y dificultades para llevar a cabo tareas en visión próxima.

12.- Efectos del tabaco

El monóxido de carbono generado en la combustión de un cigarrillo tiene 4 veces más afinidad por la hemoglobina transportadora del oxígeno. Es conocido el hecho de que tras fumar 3 cigarrillos sin interrupción, la concentración de monóxido de carbono ligado a la hemoglobina representa un 4% de saturación. El desplazamiento consiguiente del oxígeno ligado a la hemoglobina determina un cierto nivel de hipoxemia que reduce la visión nocturna en un grado equivalente al que correspondería a una hipoxia por altitud de 2800 mts. De aquí el conocido efecto deletéreo del tabaco en el aviador.

13.- Síntomas visuales en la enfermedad descompresiva

Durante una descompresión de cabina pueden presentarse alteraciones del campo visual: escotomas homónimos o hemianopsias. En consonancia con la velocidad de descompresión puede originarse percepción de flashes, titilación de luces o escotomas.

14.- Aceleraciones

El efecto de las aceleraciones tiene sus repercusiones más notorias en el vuelo militar. Asimismo puede dar lugar a alguna perturbación en vuelo acrobático o durante misiones especiales como el vuelo para la agricultura.

Las fuerzas gravitacionales o aceleraciones repercuten de forma característica en la visión. Describiremos algunos aspectos de orden fisiológico relativos a las aceleraciones positivas: Cuando el organismo está sometido a *aceleraciones positivas* +Gz -fuerzas que actúan en la dirección cabeza-asiento-, por ejemplo, al salir de un vuelo en picado, se reduce el volumen sanguíneo que retorna al corazón. Al incrementarse las aceleraciones G se alcanza un punto en que la presión en el ámbito de la arteria oftálmica que irriga el ojo resulta igual o menor a la presión intraocular. En ese momento, cuando la presión sistólica alcanza los 15-20 mmHg que es la presión intraocular normal del ojo, la circulación ocular cesa, apareciendo el fenómeno de la visión negra, la pérdida súbita de la visión. Bajo estas condiciones, los registros de la presión en el lecho vascular retiniano oscilan en torno a los 22-25 mmHG.

Cuando las aceleraciones +Gz se incrementan de +1Gz a +5Gz la presión vascular ocular disminuye desde valores de 70 mmHg a 10 mmHg determinando una ostensible pérdida de visión- la visión gris, acompañada de una reducción de campo visual periférico- efecto túnel-.

Las aceleraciones negativas, G-, fuerzas que actúan sobre el aviador en la dirección asiento-cabeza, por ejemplo, en el vuelo "rizado" o en la iniciación de un vuelo invertido, el sistema vascular de la parte superior del cuerpo se congestiona, llegando a la llamada "visión roja" del aviador, que se acompaña de fuertes

cefaleas. Durante los efectos de tales aceleraciones, pueden producirse equímosis conjuntivales, hematomas en los párpados, e incluso desprendimientos de retina.

15.- Vibraciones

En condiciones de turbulencia, aterrizaje en pistas de tierra o en el vuelo en helicóptero, las vibraciones producidas pueden distorsionar la visión. La perturbación se origina de la manera siguiente: La vibración del fuselaje transmitida a los pies y a través del asiento a la región glútea, se amplifica conforme asciende por el cuerpo, de forma que, cuando alcanza la cabeza la frecuencia de vibración llega a duplicar su valor. Como el panel de instrumentos vibra con una frecuencia semejante a la del resto de la aeronave, es decir, con una amplitud menor que la registrada a nivel de la cabeza del piloto, ello da lugar a distorsión en la lectura de los instrumentos. Vibraciones comprendidas entre 2 y 10 Hz son susceptibles de impedir una visión neta de los instrumentos: Al fijar la vista en el panel de instrumentos, los ejes visuales suben y bajan en virtud de la vibración. La oscilación vertical determina que en los instrumentos sean leídos mejor los dígitos comprendidos entre las 11 y la 1 y entre las 5 y las 7, apareciendo borrosos los datos situados en la horizontal.

16.- Visión de los colores

En aviación la visión de los colores es un requisito necesario puesto que el color se utiliza en las señales, balizas de pista, instrumentos y cartas de navegación. (**VER CUADRO 2**). El uso del color permite establecer señales informativas de gran poder de captación, de aquí su amplia utilización. Por lo que se refiere a la navegación aérea, se utilizan como señales identificativas de las aeronaves las siguientes:

*Luces de identificación de aeronaves: constituidas básicamente por una luz roja y una luz verde en los extremos de cada una de las alas, asimismo, una luz puntual blanca y un flash de luz anticollisión.

*Luces de balizaje de pista y las empleadas para ayuda en la aproximación -sistema VASIS-: incluyen las tonalidades de color: rojo, verde, blanco, azul y anaranjado.

*Señales, dígitos de color incorporados en las pantallas de instrumentos de vuelo.

El *espectro de luz visible* está constituido por una mezcla de radiaciones cuya longitud de onda varía entre 400 nm violeta y 700 nm rojo intenso-. El predominio de una determinada longitud de onda da lugar a un color. El color posee tres atributos básicos: i- el tono, que guarda relación con la longitud de onda, ii- el brillo, relacionado con la intensidad y iii-, la saturación que depende de la cantidad de luz blanca existente en su composición. La discriminación entre dos colores se basa en una, dos o tres de las características mencionadas.

La retina normal, y concretamente la mácula, posee tres tipos de conos que, a su vez, integran tres tipos de pigmentos sensibles a los colores rojo, verde y azul. Por esta razón, la visión de los colores recibe el nombre de "tricromatismo normal".

Los defectos en la visión de los colores, son por lo común de origen hereditario; se clasifican en tres grupos fundamentales: -

*Monocromatismo o acromatopsia: significa la carencia absoluta del sentido del color. Es un proceso muy raro que suele ir asociado, a otras anomalías tales como baja agudeza visual, nistagmus y fotofobia.

*Dicromatismo: existe una carencia de sensibilidad absoluta a uno de los colores básicos. Existen, por tanto, 3 tipos básicos de anomalía: i-: *Protanopia*, insensibilidad al color rojo; ii-*Deuteanopia*, insensibilidad al verde y iii-*Tritanopia*, insensibilidad al azul.

*Tricromatismo anormal: representa un déficit de sensibilidad a cada uno de los colores básicos, diferenciándose en: *protanomalías*, cuando se identifica mal el color rojo; *deuteranomalías*, cuando se identifica mal el verde y *tritanomalías*, cuando existe dificultad para distinguir las tonalidades amarillo-azul.

La deficiencia en la percepción de los colores rojo-verde es un proceso hereditario recesivo ligado al sexo. Afecta a un 7- 8 % de la población masculina y a un 0.5 % de la femenina. La deuteranomalía constituye la deficiencia más común, tiene una prevalencia de un 5%. El resto de las deficiencias en la percepción rojo -verde afecta a un 1% de la población. La dificultad en la distinción de las gamas azul- amarillo es rara, aproximadamente 1 en 50.000.

Las anomalías adquiridas guardan relación con enfermedades de la retina o del nervio óptico. En ciertos casos de retinopatía diabética es demostrable una alteración de la percepción azul- amarillo.

Procedimiento diagnóstico ,según la normativa JAR-FCL:

La exploración de la visión de los colores se basa inicialmente en métodos de confusión: laminas *pseudo isocromáticas* de Ishijara o similares- Dvorine, Stilling-Velhagen. De superar en estas pruebas los errores aceptables, se pasa a pruebas más sofisticadas:

*Linterna de Beyne, de Holmes-Wright o Spectrolux; mediante las cuales se presentan al sujeto luces de color que remedan las empleadas en aviación.

*Anomaloscopio de Nagel procedimiento de igualación de tonos que permite clasificar cuantitativamente las anomalías de percepción rojo-verde. Indistintamente pueden ser utilizadas la prueba con linterna o el anomaloscopio.

En virtud de los resultados obtenidos se emiten las siguientes calificaciones:

- "seguridad en la percepción del color"
- "inseguridad en la percepción del color", considerándose al aspirante como no apto.

17.- La visión y los aviones modernos. Aviónica digital. Pilotaje computado

Tradicionalmente los instrumentos de navegación comprendían indicadores y esferas constituidos por señales y símbolos analógicos, esto es, semejante a los dígitos de un reloj convencional. Con el advenimiento de los sistemas electrónicos, el mando de una aeronave conlleva la consulta de sistemas informáticos y el uso de instrumentos dotados de pantallas que presentan la información de una forma digital, a través de pantallas de rayos catódicos. Tales sistemas tienen una serie de particularidades de interés:

*el color entra a formar parte de los códigos de información,

*el sistema de información digital ofrece una información más dinámica -p.e, saltos numéricos- que el elemento estático de los sistemas electromecánicos- diales con recorrido de una aguja.

*la visualización adecuada de las pantallas puede regularse a voluntad con un ajuste de luminancia; la luz ambiente puede incidir negativamente en su visualización.

*respecto al pilotaje clásico, ha aumentado la automatización del mando de la aeronave; el piloto maneja un grado mayor de información y puede crear, seleccionar a voluntad elementos informativos en pantallas.

*puede perderse la representación visual electrónica, en cuyo caso la aeronave se controla con instrumentos de reserva, en esencia iguales a los instalados en las aeronaves de generaciones anteriores. (**FIGURA 9**)

Paradójicamente, la automatización ha aumentado la importancia del hombre y la necesidad de saber cómo trabaja.

En virtud de la importante carga de trabajo visual que conlleva el mando de una aeronave moderna, hemos de considerar brevemente los síntomas de la fatiga visual

18.- La Fatiga Visual

Puede ser consecutiva a la fatiga psico-física condicionada por el estrés, la sobrecarga de trabajo, el vuelo nocturno o el desincronismo transmeridiano o jet-lag. A nivel ocular, existen unos síntomas premonitorios de fatiga:

*Parpadeo más frecuente de lo habitual.

*Astenia y tendencia al cierre de los párpados.

*Contracción palpebral, fruncimiento del ceño.

*Sensación de picor ocular.

*Hiperémia conjuntival.

*Incremento del lagrimeo.

*Síntomas derivados de la astenopia o fatiga de acomodación: emborronamiento de la lectura, veladura sobre los objetos observados, fatiga en el enfoque.

Referencias

1. De Hart RL. Fundamentals of Aerospace Medicine. Lea and Febiger 1st.Ed. Philadelphia-London 1985.
2. Romero de Tejada M. Manual de Fisiología Aeronautica.Ed.Quirón.Valladolid 1994.
3. OACI. Información Médica para Pilotos. Manual de Medicina Aeronautica Civil. Doc.8954-AN-/895.OACI 2^o Ed. Montreal 1983.
4. Ortiz Garcia P. Medicina Aeronautica y Aviación Deportiva.RACE Real Automovil Club de España 11-1996.
5. C.Aschoff J. Pilotos de Jet y psicofármacos. Movimientos oculares cómo indicadores sensibles. Boehringer Sohn INFORMA 74/73. Ingelheim am Rhein.
6. Rodriguez Villa JL. La visión binocular en el ámbito de los requisitos aeronauticos.Medicina Aeroespacial y Ambiental Vol II N°6 Nov 1999.
7. Brenan DH. Aircrew sunglasses. RAF Institute of Aviation Medicine Farnborough. Hants GU14 6SZ UK.
8. Ernsting J. King P. Aviation Medicine 2Ed. Butterworths London 1989.
9. Gregory RL. Ojo y Cerebro. EdGuadarrama.Madrid 1965.