

**Dr. Pedro J. Ortiz Garcia**  
**Servicio Médico de Iberia, Lineas Aéreas de España**

**Dr. José M<sup>a</sup> Pérez Sastre**  
**Diplomado en Medicina Aeronáutica**  
**Servicio Médico de Iberia, Lineas Aéreas de España**

## **7.- SENTIDO DEL EQUILIBRIO Y VUELO**

### **INTRODUCCION**

El ser humano percibe su posición correcta respecto al medio que le rodea, gracias a la vista, al sistema vestibular en el oído y al sistema propioceptivo de músculos y tendones. Durante la infancia se aprende a medir la distancia con la visión, se aprende a equilibrarse y a convivir con la gravedad en los primeros pasos.

En tierra, el adulto se ubica en el espacio casi subconscientemente y con su visión periférica, casi sin pensar ni preocuparse.

Durante el vuelo, la fuerza centrífuga de los virajes, confunde al sistema vestibular, y muchas veces se vuela de noche, o en condiciones meteorológicas adversas, disminuyendo la capacidad visual. Además su sistema propioceptivo resulta inútil para indicarle lo que está arriba o abajo. Por lo tanto, no es extraño que los sentidos engañen al piloto y le desorienten.

### **1.- LEYES DEL MOVIMIENTO.- ACELERACIONES**

Pese a que no existen más límites teóricos en la velocidad que el ser humano puede soportar en un vuelo nivelado y rectilíneo, que los impuestos por la Teoría de la Relatividad, cualquier **cambio en la trayectoria o en la velocidad** genera unas fuerzas que conocemos con el nombre de **aceleraciones**, que determinan importantes sobrecargas para el organismo. Cuando las aceleraciones duran más de 1 segundo [s], el organismo sufre alteraciones en su funcionamiento; Hasta un segundo, las sobrecargas son fundamentalmente de tipo mecánico.

Se define la **Velocidad** [V] como la distancia [D] recorrida por unidad de tiempo [T]:

$$V = D / T = m / s$$

Unidades: Distancia en metros, Tiempo en segundos

La velocidad así definida es la velocidad constante lineal, es decir la de un móvil que sigue de forma uniforme una línea recta. Para dar cuenta de la dirección del movimiento, se recurre al concepto de vectores, que por definición reúnen las nociones de velocidad y dirección en el espacio.

Por **Aceleración** [A] entendemos la variación [d] de la velocidad por unidad de tiempo; su unidad es por consiguiente el m/s por segundo (ó  $m/s^2$ ):

$$A = dV / dT$$

Para acelerar un cuerpo es preciso aplicar una Fuerza [F] sobre el mismo. En efecto, según la primera Ley de Newton, un cuerpo continúa en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme a menos que se le aplique una fuerza exterior que altere su vector de movimiento.

Se define la **Fuerza** [F] como el producto de la Masa [M] por la Aceleración [A]:

$$F = M . A$$

Unidades: Fuerza en Newtons; Masa en Kg; Aceleración en  $m/s^2$

Cuando se está en situaciones de viraje, las aceleraciones generan **fuerzas centrífugas** [Fc], cuya la fórmula general es:

$$F_c = M \cdot V^2 / R$$

donde R es el radio de giro en metros y V es la velocidad en m/s.

La  $F_c$  es pues directamente proporcional al cuadrado de la velocidad e inversamente proporcional al radio de giro.

La **velocidad angular** de un objeto que está girando, es la variación del ángulo descrito en su rotación alrededor de un eje, por unidad de tiempo. La **aceleración angular** es un cambio de la velocidad angular, que puede deberse a una variación en la tasa de rotación, o a un cambio en la dirección del eje.

Un caso especial es el del Peso, que es la Fuerza con la que el cuerpo es atraído por la Tierra (producto de la Masa por la Aceleración de la Gravedad terrestre). La Aceleración de la Gravedad terrestre se denomina **G**. Un **G** hace que un cuerpo aumente su velocidad en 9,81 m/s por cada segundo de caída libre cerca de la superficie de la Tierra [ $1 G = 9,81 \text{ m/s}^2 = 32,2 \text{ ft/s}^2$ ].

## 2.- EL SISTEMA VESTIBULAR

El **sistema** o **aparato vestibular** del oído interno, también llamado órgano del equilibrio, está formado por los **conductos semicirculares**, el **utrículo** y el **sáculo** (Figura 1).

(Figura 1 .- Página 124 de la Documentación gráfica que se adjunta)

Los **conductos** ó **canales semicirculares** están formados por tres tubos membranosos situados en el oído interno, en una cavidad del hueso temporal que forma parte de la base del cráneo. Los conductos contienen un líquido denominado endolinfa, y parten del **utrículo**, terminando en una **ampolla**. En el interior de la misma existe una zona prominente, la cresta ampular, en la que están situadas unas células neurosensoriales provistas de microvellosidades dirigidas hacia la luz ampular. Estas células están conectadas con las neuronas del nervio vestibular. Por encima de la cresta ampular existe una **cúpula** gelatinosa, en la que están sumergidas las microvellosidades de las células neurosensoriales, que oscila con los movimientos de la endolinfa

(Figura 2A) Página 125

Tanto la cabeza como los conductos semicirculares, las ampollas y las células sensoriales que estas contienen, se desplazan en bloque durante los giros. La endolinfa sin embargo, no lo hace en un primer momento debido a su inercia; Se produce así un desplazamiento relativo de la endolinfa con respecto a los conductos semicirculares, que hace que oscile la cúpula, estimulando las células sensitivas de su base (Figura 2B.)

(Figura 2B) Página 125

Se detectan de este modo los movimientos de **rotación** (giros) y las **aceleraciones angulares**. Al estar orientado cada conducto en un plano del espacio, cualquier aceleración angular estimula siempre alguno de ellos.

El **utrículo** y el **sáculo** también contienen células sensitivas, cuyos cilios que se encuentran incluidos en una masa gelatinosa, rica en cristales de calcita (los denominados estatolitos). Estas minúsculas piedras estimulan los cilios cuando se producen aceleraciones dirigidas en sentido antero - posterior, **aceleraciones lineales**, o en sentido arriba - abajo, **aceleración de la gravedad**

(Figura 3) Página 126

Tanto de los conductos semicirculares, como del utrículo y del sáculo, parten nervios hacia:

- los núcleos cerebrales donde se encuentran las neuronas que mueven los ojos,
- los músculos que mantienen la postura,
- el cerebelo y
- las zonas del cerebro que controlan la orientación espacial consciente.

### **3.- MAL DE MOVIMIENTO.- CINETOSIS**

Cuando el hombre está sometido a movimiento, tanto si es un movimiento real como si es ficticio (es el caso por ejemplo de las ilusiones ópticas, de los simuladores o de los cines con pantallas esféricas), puede aparecer el llamado **mal de movimiento**. Este fenómeno es conocido desde antiguo en el mundo marítimo, donde desde la antigüedad se conoce el MAREO. Puesto que se trata de un efecto del movimiento, que puede ocurrir en cualquier medio de locomoción, se le denomina también **Cinetosis**.

La incidencia de la cinetosis es variable. Mientras que en pilotos comerciales experimentados es rarísima, en vuelos en condiciones de mucha turbulencia puede llegar casi al 100%. En las primeras fases del entrenamiento de los pilotos, la cinetosis es particularmente frecuente e importante, pudiendo incluso llegar a afectar la seguridad del vuelo: en el entrenamiento básico de pilotos militares, esta situación puede ocurrir en aproximadamente un 15% de los alumnos.

La cinetosis se caracteriza por un conjunto de síntomas, de aparición progresiva, que van desde la dispepsia (sensación de malestar gástrico) y la sensación de frío/calor, hasta el vómito con malestar general, dolor de cabeza, postración y desorientación; Estos síntomas aparecen como consecuencia de la exposición de individuos sanos a estímulos externos no habituales, producidos por movimiento. Se trataría pues de un Síndrome (conjunto de síntomas) de mala adaptación al movimiento.

### 3.1.-Mecanismo de producción de la Cinetosis

El mecanismo de producción de la cinetosis no está totalmente aclarado (en particular la cinetosis en la microgravedad de los vuelos espaciales). Existe sin embargo un consenso en considerar que la cinetosis es una consecuencia de un **conflicto** entre las distintas informaciones que llegan al Sistema Nervioso Central [SNC], y entre estas y lo que el SNC considera "normal".

En efecto, al SNC llegan los estímulos procedentes de los distintos receptores nerviosos de los órganos de los sentidos, aportando informaciones sobre posición, movimiento y aceleraciones:

- VISION
- ORGANOS VESTIBULARES (canales semicirculares -> aceleración angular / utrículo+sáculo -> aceleración lineal)
- PROPIOCEPTORES (receptores de posición de los miembros y de presión sobre la piel)

Imaginémonos sentados sobre el suelo en reposo. Toda la información que llega al sistema nervioso central es concordante: lo que vemos -ausencia de movimiento y posición de nuestro cuerpo sobre el suelo-, coincide con la información que llega del órgano del equilibrio -ausencia de aceleraciones- y lo que siente el cuerpo -presión repartida por glúteos y miembros inferiores-.

Cuando nos movemos, estas informaciones pueden ser **discordantes**. El siguiente esquema representaría la secuencia que determina la aparición de cinetosis:



estímulos desconocidos, para los que no existe una memoria de referencia), la fatiga, el miedo a volar o la hipoglucemia (falta de glucosa en sangre), son factores que disminuyen este umbral, favoreciendo la aparición del mal de movimiento.

Se distinguen distintos tipos de cinetosis según las circunstancias que la provocan y el origen de los estímulos discordantes que llegan al cerebro. Se consideran básicamente la discordancia entre visión y órganos vestibulares y la discordancia entre los distintos componentes de los órganos vestibulares (canales semicirculares por un lado y utrículo + sáculo por otro). En las Tablas I y II se dan algunos ejemplos para cada tipo de cinetosis.

Tabla I: Cinetosis por discordancia entre la visión y los órganos vestibulares.

Tabla I Página 129

Tabla II: Cinetosis por discordancia entre los distintos componentes del órgano vestibular (discordancia intravestibular).

Tabla II Página 129

### 3.2.-Prevención y tratamiento de la Cinetosis

Existen una serie de medidas para prevenir las cinetosis:

- **Entrenamiento.** Conforme nuestro cerebro va integrando las distintas sensaciones que provoca el vuelo, y asimila como "normales" las posibles discordancias sensoriales que conlleva, mejora el umbral de tolerancia. El entrenamiento también trae consigo una mejora de la coordinación del piloto en el manejo de la aeronave: volar nivelado y con la bola centrada disminuye notablemente las discordancias a las que este está sometido.
- **Higiene alimenticia y de descanso.** Dormir lo suficiente, y no volar en ayunas (se debe tomar una comida poco abundante, una hora antes del vuelo).

- **Evitar situaciones de estrés.** Preparar correctamente los vuelos (ajustar adecuadamente el asiento y los arneses), conocer la meteorología que nos espera y seguir los procedimientos recomendados, son algunas de las medidas que ayudan a controlar este factor.
- Masticar chicle y evitar la automedicación.

Cuando aparecen los primeros síntomas de la cinetosis (en general sensación de frío/calor, sudoración y molestias en la boca del estómago), las siguientes medidas pueden ayudar a evitar la progresión de los síntomas:

- Aumentar la entrada de aire fresco en la cabina.
- Respirar despacio y profundamente (unas 8 respiraciones por minuto). En esta técnica se coge aire durante cuatro segundos y se espira durante cuatro segundos.
- Evitar movimientos bruscos de la cabeza y maniobras forzadas de la aeronave (virajes de poco radio)
- Fijar la atención en los instrumentos.

Existen medicamentos para tratar la cinetosis, pero estos fármacos afectan negativamente a la capacidad del piloto para el manejo de la aeronave. Su utilización debe estar siempre indicada por un médico y el piloto solo debe volar bajo supervisión de un instructor.

Los factores psicológicos que predisponen a la cinetosis, la ansiedad y el temor al vuelo fundamentalmente, pueden requerir tratamiento especializado.

#### **4.-ACELERACIONES PROLONGADAS EN AVIACIÓN**

Veíamos más arriba que las aceleraciones prolongadas eran consecuencia de cambios en la velocidad o en la trayectoria de vuelo.

La mayor parte de los aviones convencionales, en condiciones normales de vuelo, no ejercen suficiente fuerza como para producir cambios de la velocidad lineal, capaces de alterar la funcionalidad del organismo humano. La forma más habitual de producir aceleraciones prolongadas son los **cambios de dirección de vuelo.**

Se denomina **aceleración positiva** [**+G** ó **+G<sub>z</sub>**] al cambio de velocidad hacia la cabeza de la persona (en el sentido cefálico del eje longitudinal del individuo, eje denominado z). En este caso, la fuerza de inercia actúa hacia los pies. **El piloto se**



**siente presionado contra el asiento.** Ocurre por ejemplo al estabilizar la nave tras un picado.

Se denomina **aceleración negativa** [-G ó -G<sub>z</sub>] al cambio de velocidad hacia los pies de la persona (en el sentido caudal del eje longitudinal z). En este caso, la fuerza de inercia actúa hacia la cabeza. El piloto se siente presionado contra el arnés. Ocurre por ejemplo al estabilizar la nave en invertido tras un picado.

Cuando los cambios de velocidad ocurren en cualquier dirección perpendicular al eje longitudinal de la persona (z), se producen las llamadas **aceleraciones transversales**, hacia delante (+G<sub>x</sub>) ó detrás (-G<sub>x</sub>), o hacia los lados (+G<sub>y</sub> hacia la derecha, -G<sub>y</sub> hacia la izquierda). También pueden producirse aceleraciones por **rotación** sobre los ejes x, y ó z (Figura 4). Todas estas aceleraciones actúan simultáneamente en numerosas condiciones de vuelo.

(Figura 4) Página 132

Según el diámetro del viraje realizado y la velocidad de la aeronave, se producen distintas aceleraciones. En la Tabla III se dan algunos ejemplos.

Tabla III

	Velocidad (nudos)	Diámetro del Viraje (nm)	Tiempo para viraje 360° (s)	Aceleración (G)
1	80	0,1	14	1,87
2	200	0,3	17	3,89
3	200	1	57	1,17
4	300	3	113	0,87
5	400	4	113	1,17
6	500	5	113	1,46

7	500	12	271	0,61
8	1000	6	68	4,86
9	1300	6	52	8,21

nm= millas náuticas

Los dos primeros ejemplos pueden corresponder a aviación deportiva: 1. viraje de un velero en térmica; 2. maniobra de un avión de acrobacia. Los casos 3 a 7 pueden corresponder a aviación comercial con distintos tipos de aeronaves y de situaciones. Los supuestos 8 y 9 son típicamente militares (velocidades supersónicas).

#### **4.1.-Efectos de las aceleraciones**

##### **1. Peso**

El Peso del cuerpo humano, así como el de cada órgano que lo compone, está directamente relacionado con la aceleración a la que está sometido. Un piloto de 70 Kg sometido a 4G pesa 280 Kg, lo que puede interferir con su capacidad para realizar determinadas tareas, pues los brazos y piernas parecerán de plomo; Las mejillas se desplazarán hacia los pies.

El límite para poder abandonar una aeronave en barrena sin artefactos especiales -sillón eyectable- es de 2 a 3G. El peso de las vísceras se hace particularmente molesto en el caso de aceleraciones negativas ( $-G_z$ ) y en aceleraciones transversales importantes; La presión de las vísceras sobre el diafragma puede reducir la capacidad del pulmón para distenderse.

##### **2. Sistema cardio-vascular.**

Es el sistema más alterado por el incremento de peso de los órganos y fluidos del organismo sometido a aceleraciones importantes. El cerebro está situado a unos 30 cm del corazón: a +5G, una columna de sangre de esta longitud ejerce una presión de 120 mmHg sobre su base; Esta presión puede igualar la presión con la que sale la sangre del corazón (presión arterial sistólica), disminuyendo o incluso cesando, el flujo de sangre hacia el cerebro. La presión en las venas llega a hacerse negativa, provocando el colapso de las mismas.

Las aceleraciones negativas importantes aumentan la presión arterial y venosa en la cabeza, lo que puede provocar la aparición de pequeñas hemorragias en conjuntivas y piel (petequias).

El Líquido Cefalorraquídeo [LCR] y las Venas Vertebrales [VV] que discurren por el interior de las vértebras, en un conducto indeformable, constituyen dos mecanismos de protección del cerebro frente a las aceleraciones positivas (+4G). El LCR y las VV permiten que siga existiendo una pequeña circulación sanguínea en el cerebro, cuando esta ha desaparecido de otros órganos, como la retina. Este fenómeno explica la aparición de la **Visión Gris y la Visión Negra**. Cuando entre +3,5G y +4G, la presión de la arteria de la retina se hace inferior a 20 mmHg, que es la presión del interior del ojo, disminuye la circulación sanguínea de la retina con lo que aparece la **visión gris**. Poco después, a +4G - +4,5G cesa completamente la circulación y aparece la **visión negra**. Sin embargo, la persona sigue consciente porque subsiste un riego cerebral ya que el LCR también ha disminuido su presión con la aceleración positiva y las VV siguen abiertas al estar en un conducto que no se puede colapsar.

En aceleraciones negativas, aparece la llamada **Visión Roja**, consecuencia del desplazamiento del párpado inferior sobre la córnea y del aumento del volumen de los vasos de la conjuntiva.

La posición del piloto influye en la tolerancia a las aceleraciones: cuanto mayor sea la distancia cerebro - corazón (ojo - corazón), tanto mayor será la sensibilidad a las aceleraciones.

Los ojos están situados a unos 30 cm por encima y 15 cm por delante del corazón, lo que hace que la distancia ojo - corazón sea mayor que la distancia cerebro - corazón (Figura 5). Esta circunstancia incrementa la susceptibilidad del ojo a las aceleraciones (sobre todo si se echa la cabeza hacia atrás).

(Figura 5) Página 134

En las aceleraciones suficientemente prolongadas, hay tiempo para que se desencadenan reflejos cardio - vasculares, tendentes a compensar las alteraciones ya descritas. Así, la aceleración positiva provoca una vasoconstricción periférica (contracción de las arterias) y una taquicardia (aumento del número de latidos cardíacos por minuto). La aceleración negativa provoca una bradicardia (disminución de la frecuencia cardíaca) y una vasodilatación periférica.

### 3. Organismo vestibular

Los neuroreceptores del organismo vestibular identifican como "abajo" la resultante de la suma de dos fuerzas: la de la

aceleración y la de la gravedad terrestre. Cuando ambos vectores tienen distintas direcciones, puede surgir un conflicto entre lo que siente el piloto y su situación real con respecto a la superficie terrestre; Es la **ilusión óculo-grávida**, típica de situaciones de incremento de la aceleración. Al iniciarse el movimiento en una centrífuga, el piloto siente que él y los instrumentos giran hacia atrás y arriba. En la deceleración ocurre un fenómeno inverso: el sujeto siente que la cabina está hacia abajo, "amorrada".

Esta ilusión puede ocurrir en vuelo cuando se cambia súbitamente de velocidad en un vuelo nivelado y rectilíneo. Es por esta razón por la que se insiste en recomendar a los pilotos que **pongan una gran atención en los instrumentos cuando sientan que giran.**

Las aceleraciones angulares ocurren cuando se gira la cabeza en virajes, o cuando estos son muy cerrados.

#### **4. Agudeza visual e iluminación.**

En aceleraciones crecientes, desciende la agudeza visual, lo que puede estar en relación con el déficit de riego sanguíneo del cerebro y de la retina así como con un desplazamiento del cristalino. Un fenómeno similar ocurre con la iluminación de los instrumentos: a partir de +4G se requieren niveles altos similares a los de la luz del día, para evitar errores de lectura.

#### **4.2.-Tolerancia\_a las aceleraciones**

La tolerancia a las aceleraciones varía no solo en función de la postura del piloto, sino también de su estado de salud. Algunas enfermedades como las varices voluminosas en miembros inferiores, las hernias inguinales, las hemorroides importantes, las alteraciones en el control fisiológico de la tensión arterial (predisposición a las lipotimias), el glaucoma, el desprendimiento de retina ó las infecciones activas disminuyen la tolerancia a las aceleraciones positivas (+G). Ocurre lo mismo con la hipoglucemia, la hipoxia o la ingestión de alcohol.

#### **4.3.-Protección frente a las aceleraciones**

En la aeronáutica militar se han desarrollado distintos métodos.

Existe en primer lugar la llamada **prevención postural**. Ya en la II Guerra Mundial los pilotos se inclinaban hacia delante  $30^{\circ}$  -  $40^{\circ}$ , con lo que disminuye la distancia corazón - cerebro/ojos, y se aumenta la tolerancia a aceleraciones positivas en 2-3 G.

Con el desarrollo de los reactores, se perfeccionaron los llamados pantalones anti-G, sistema de manguitos que rodean abdomen y miembros inferiores. Ante aceleraciones positivas, se inflan estos manguitos con lo que disminuye la capacidad de "almacenamiento" de sangre en estas zonas,

manteniéndose una presión arterial suficiente en la zona craneal del individuo. Otro método, utilizado en acrobacia, consiste en contraer voluntariamente la musculatura abdominal y de miembros inferiores.

Dada la menor tolerancia a las aceleraciones negativas, un método utilizado para evitarlas es convertirlas en positivas invirtiendo la aeronave.

## **5.- DECELERACIONES**

En ocasiones afortunadamente extraordinarias, el piloto puede estar sometido a deceleraciones extremas: colisión de la aeronave en vuelo, contra el suelo (agua), o apertura del paracaídas. A estos acontecimientos, habría que añadir algunos pertenecientes al ámbito militar: aterrizaje en portaviones, eyección con asiento - cohete, turbulencias a baja altura en vuelos supersónicos. Con todo, el principal riesgo de deceleración violenta para el piloto, como para el resto de la población, proviene de los accidentes de tráfico.

Las deceleraciones así producidas tienen una secuencia típica que muestra la Figura 6. Durante un pequeñísimo espacio de tiempo se produce un aumento brutal de la deceleración (es el llamado Jolt, incremento de la aceleración por unidad de tiempo, cuyas unidades son  $G / s$  ó  $m / s^3$ ); posteriormente se produce una meseta y el decremento de la deceleración.

(Figura 6) Página 137

El ser humano puede tolerar durante breves instantes importantes deceleraciones: en el caso de una colisión frontal, se pueden tolerar (con los arneses bien colocados), 60 G con un Jolt de 600 G/s, ó 30 G con un Jolt de 1000 G/s, sufriendo únicamente lesiones mínimas. La muerte se produce por encima de 200 G - Jolt de 5000 G/s (0,1 - 0,5 s).

Del dato anterior se desprende la importancia que tienen las tolerancias a las deceleraciones de las estructuras de los aviones (asientos, cinturones de seguridad).

## **6.- DESORIENTACIÓN ESPACIAL**

### **6.1.- Concepto**

La Desorientación Espacial (DE) es la percepción incorrecta que el piloto puede experimentar respecto de la posición, del movimiento

o de la presentación de la aeronave o de sí mismo en relación con el espacio que le rodea.

Aunque esta definición incluye los errores en la percepción de la posición de la aeronave, tales incidentes son descritos mejor como "desorientación geográfica". En USA este término es sinónimo de vértigo e históricamente se hace referencia a la desorientación como el "vértigo del piloto". Sin embargo, este término se refiere a una sensación de giro y mareo más en relación con cuadros clínicos y enfermedades, que por supuesto también pueden afectar al piloto. Un piloto con vértigo puede padecer lógicamente de desorientación espacial, pero hay muchos incidentes en los que estando el piloto desorientado, no padece vértigo.

## **6.2.-Frecuencia**

Casi todos los pilotos han experimentado alguna vez alguna ilusión sensorial. Es bastante común debido a las propias limitaciones fisiológicas de los sentidos en un medio ambiente diferente. De una muestra de 300 pilotos de helicóptero de la Armada inglesa sólo un 2% afirmaban no haber estado desorientados nunca (Steele-Perkins and Evans 1978). En la aviación militar, del 2.5% al 14% de los accidentes se deben a DE.

En la aviación civil las cifras son dispares, muchos pilotos dicen que nunca se han desorientado porque siempre sabían la orientación correcta del avión gracias a los instrumentos. En los pilotos privados, sin calificación instrumental, la amenaza del accidente es mucho más importante que en los pilotos civiles de transporte. En la aviación general y deportiva la DE es la causa del 16% de los accidentes, sobre todo en condiciones meteorológicas adversas y de noche. Entre 1959-75, según estadísticas de OACI, el 54% de los accidentes de transporte civil fueron durante la aproximación y aterrizaje. Un 25% de los mismos tuvieron como factor causal la mala interpretación de las distancias, de la altitud o de la velocidad, y por tanto los pilotos estaban desorientados.

Tabla I Página 141

## **6.3.-Tipos de Desorientación Espacial**

La consecuencia más importante de la DE será el accidente. Si el piloto basa el control de la aeronave en una percepción errónea de la presentación o trayectoria, puede dar lugar a pérdida de control y accidente. Afortunadamente, sólo una pequeña proporción de incidentes de Desorientación Espacial tendrá consecuencias tan negativas.

La mayor proporción de accidentes por errores de orientación se asocian a vuelos con baja visibilidad, en condiciones mete-

reológicas adversas, en vuelos que deberían ser IFR. Con buena visibilidad, volando VFR, los accidentes por DE son menos frecuentes y debidos a una mala interpretación de las referencias visuales exteriores.

En la Desorientación Espacial **tipo I**, el piloto no aprecia que la percepción de la orientación del avión es incorrecta. Es la más peligrosa porque no busca ninguna solución. En la DE **tipo II**, la más común; el piloto experimenta un conflicto entre lo que siente y lo que le dicen los instrumentos. El conflicto suele solucionarse ya que el piloto suele controlar el avión basándose en lo que le dicen los instrumentos, ya que ha aprendido que sus sentidos le pueden engañar.

Tabla II Página 143

#### **6.4.- Causas de desorientación en vuelo**

En términos generales podemos dividir las causas de DE en dos grandes apartados: 1) cuando la información transmitida por los sentidos es errónea hablamos de "error sensorial" y 2) cuando el fallo está en la interpretación inadecuada de la información sensorial correcta hablamos de "error central"

##### **Errores sensoriales**

###### a) Insuficientes referencias visuales externas

Durante la noche o en condiciones meteorológicas adversas; volando entre nubes, niebla, nieve, lluvia, humo o simplemente en la oscuridad, sin referencias visuales el piloto se desorientará porque los sentidos no visuales le informarán erróneamente. Incluso con buena visibilidad, el vuelo sobre terrenos sin referencias como la arena o la nieve o la noche, puede ser difícil estimar la altitud al aterrizar. Las ilusiones en aproximación son muy importantes y merecen una explicación posterior. En la oscuridad o durante la mirada prolongada hacia un cielo sin nubes, la carencia de puntos de fijación, puede hacer que los mecanismos de acomodación o enfoque del ojo se relajen, y el sistema ocular quede enfocado a una distancia fija de 1 metro. Este fenómeno se denomina "miopía nocturna" o espacial y se le concedía mayor importancia cuando las ayudas al vuelo eran menores. Un cambio frecuente de enfoque (con relación a los instrumentos) evita tal situación.

###### b) Insuficientes referencias visuales de los instrumentos

En estos casos la información transmitida por los instrumentos es errónea, y el piloto basa el control de forma equivocada, en un ambiente donde no sea posible el vuelo VFR.



c) Alteraciones de la visión

La habilidad del piloto para percibir bien puede degradarse por alteraciones para mantener la imagen en la retina o por fallo en la transducción de la imagen por las células sensoriales de la retina. Las vibraciones, las altas aceleraciones o la aparición de nistagmus pueden producir desorientación.

d) Inadecuadas referencias vestibulares y otros mecano-receptores  
En este caso el fallo es de los sistemas sensoriales no visuales, es decir canales semicirculares y otolitos. Cuando los estímulos son inadecuados, por debajo de un umbral, los receptores vestibulares pueden no informar de los cambios de velocidad y de posición (por ejemplo en los "leans"). Otras veces estos estímulos son erróneos (como el caso del "coriolis")

### **Errores centrales**

Son debidos al fallo del piloto en procesar la información sensorial correcta que ha recibido. Limitaciones cerebrales muchas veces causadas por enfermedades y otras por la respuesta ante sobrecarga física y psíquica del propio vuelo

a) Atención focalizada y fascinación

Típico del estudiante piloto, o en situaciones de ansiedad, sobrecarga de trabajo o mala gestión de recursos de cabina. El piloto focaliza toda su atención en un aspecto de la tarea del vuelo descuidando otras, perdiendo eficiencia e incluso poniendo en peligro la seguridad del propio vuelo.

b) Errores de expectativa

La percepción individual de un particular estímulo sensorial, depende de la experiencia pasada. Un piloto volando sobre el mar en una noche oscura al mirar fuera y ver luces por debajo de él, puede presumir equivocadamente que son estrellas en lugar de barcos o luces. Esta falsa percepción inmediatamente le puede llevar a otra: si las estrellas están abajo cuando deberían estar arriba, es que estoy volando invertido. Cuando lo sentido no coincide con lo esperado pueden aparecer diferentes ilusiones.

## **7.- ILUSIONES VISUALES EN APROXIMACIÓN (Ver Tema N° 9 )**

### **8.- ILUSIONES VESTIBULARES**

Según el tipo de estímulo y la aceleración generada sea líneal o radial-angular, serán los otolitos o los canales semicirculares los que responderán; por ello tenemos dos tipos fundamentales de ilusiones vestibulares: a) ilusiones somatogiras (dependientes de los canales semicirculares) y b) ilusiones somatogravitas (dependientes de los otolitos).

A) Ilusiones dependientes de los canales semicirculares o



## Somatogiras

### 1.Ladeos o "Leans"

Es una falsa percepción de la inclinación angular después de recuperar un alabeo con baja velocidad en dirección opuesta. El ejemplo más frecuente es el del avión que de forma paulatina inicia un alabeo por debajo del umbral de estimulación de los canales. El piloto no se da cuenta de la posición hasta que lo ve en el horizonte artificial, entonces corrige mediante una maniobra súbita la presentación, y ahora sí se estimulan los canales; de forma que aunque esté volando a nivel, la sensación que tiene es estar inclinado hacia el lado contrario de la corrección que hizo. La mayoría de los pilotos ignoran sus propias sensaciones y mantienen la presentación por la referencia de los instrumentos.

### **Figura 1 Página 153**

### 2.Efecto Coriolis

Ilusión que se produce cuando el movimiento angular de la cabeza del piloto es diferente al movimiento angular del avión. En medio de un giro, el piloto hace un movimiento brusco de la cabeza que le produce la sensación vertiginosa.

### 3.Ilusión somatogira

Falsa sensación de viraje propio, causado por la incapacidad de los canales semicirculares de registrar correctamente el movimiento continuo

### 4.Ilusión oculogira

Ante una aceleración angular mirando a otro objeto, se puede tener la falsa percepción del movimiento de dicho objeto (es el componente visual de la ilusión somatogira) cuando realmente está detenido.

## B)Ilusiones dependientes del órgano otolítico o Somatográvidas

La percepción errónea de la presentación debida a un vector de aceleración lineal no alineado con la gravedad, es una ilusión de la orientación del cuerpo en el espacio, de ahí su nombre de somatográvidas.

### 1.-Ilusión somatográvida

Cuando aceleramos, el piloto puede sentir que el morro se eleva y por tanto pensar que se asciende. Al contrario, al decelerar, la sensación es de descenso e inclinación del morro hacia abajo.

### **Figura 2 Página 155**

## **Fig 21.2 pág 298 del Ernsting King**

### **2.-Ilusión oculográvida**

Representan el componente visual de la ilusión somatográvida, un cambio en la aceleración lineal puede causar movimiento aparente de objetos y falsa localización.

**Figura 3 Página 156**

## **9.-MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE LA DESORIENTACIÓN ESPACIAL**

La Desorientación Espacial es peligrosa para la seguridad del vuelo, todo el esfuerzo debe encaminarse a prevenir la aparición de errores de la percepción que den lugar a pérdida de control de la aeronave. Siguiendo el modelo hombre-máquina-medio ambiente, podremos instaurar medidas preventivas a nivel de dichos factores

### **9.1.-Factores de la Aeronave:(máquina)**

#### **a) Instrumentos**

La DE es un problema fundamental de vuelo en condiciones visuales deficientes, por eso el vuelo con instrumentos es el mejor aliado del piloto. En teoría, los instrumentos deberían informar al piloto con la misma "fuerza visual" que las propias referencias exteriores, lo cual no siempre se cumple. Deberían leerse correctamente, sin ambigüedades y de forma rápida, tanto de día como de noche. Intentar volar en condiciones meteorológicas adversas sin horizonte artificial es una temeridad de consecuencias obvias.

#### **b) Ergonomía de cabina**

La distribución inadecuada de mandos, instrumentos, paneles o asientos en la cabina pueden favorecer la aparición de DE por obstrucción del campo visual dificultando la percepción de la presentación.

**Figura 4 Página 157 y Figura 5 Página 158**

#### **2) Factores Operacionales (medio ambiente):**

El piloto debe volar aquellos aviones, con las maniobras y en las condiciones ambientales para los que esté preparado y entrenado. El vuelo con instrumentos (IFR) es fundamental para evitar estas situaciones. Evitar condiciones ambientales adversas, o la noche o grandes altitudes o volar sobre terrenos sin referencias exteriores son medidas básicas para pilotos VFR. Evitar maniobras de vuelo que predisponen a la DE como las prolongadas aceleraciones lineales, o angulares, o los cambios de presentación sub-umbral, serán siempre deseables.

### **9.3.- Factores humanos (el hombre):**

La selección, el control y el entrenamiento son los pilares fundamentales junto con la experiencia y el comportamiento adecuado. El piloto se convence de que no puede volar solamente por lo que le dicen sus sentidos, no se debe mezclar innecesariamente el vuelo instrumental con el visual. Volar con alteraciones físicas o psíquicas, o bajo la influencia de medicamentos o tóxicos predispone a alteraciones sensoriales.

#### 10.- CONSEJOS PRACTICOS ANTE LA DIFICULTAD DE ESTABLECER LA ORIENTACION Y CONTROL DE LA AERONAVE

1. Chequea los instrumentos
2. Mantener vuelo IFR. Vigilar la altura
3. No mezclar vuelo VFR con IFR (al menos hasta que las referencias exteriores sean claras)
4. Pedir o Buscar ayuda si persiste la DE (copiloto, controlador, otro avión)

Recuerda que casi todas las situaciones de DE son respuestas normales, fisiológicas a las condiciones de vuelo. **La experiencia es importante pero no te hace inmune...**

#### Bibliografía

- 1.-Caudevilla Nuñez,P; Lopez Pérez.R.; Ortiz García,PJ; Pérez Sastre,JM<sup>a</sup>. "Factores Humanos en Aviación.Curso JAR-FCL para pilotos de transporte de Líneas Aéreas". American Flyer España.Madrid/2000
- 2.-Caudevilla Nuñez,P; Ortiz García,PJ; Pérez Sastre,JM<sup>a</sup>; y Salinas,JC. "Conceptos Básicos de Medicina y Psicología Aeronáutica para pilotos". American Flyer España. 2<sup>a</sup> de.Madrid 1996
- 3.-Benson,AJ ."Spatial Disorientation". In Ernsting,J and King,P:"Aviation Medicine".Butterworths.London 1988
- 4.Benson,AJ. "The vestibular sensory system". In Barlow,HB and Mollon,JD: "The Senses". Cambridge University.London 1987

5.Crampton,GH. "Motion and Space Sickness". CRC Press. Florida  
1990

6.Gillingham,K and Wolfe,JW. "Spatial Orientation in Flight". In  
Dehart,RL : "Fundamentals of Aerospace Medicine". Lee and  
Febiger.Philadelphia 1985

\*\*\*\*\*