XXV Seminario Internacional Cátedra «Alfredo Kindelán»

Perspectiva del Ejército del Aire

Carlos Pérez Salguero
Teniente Coronel del Ejército del Aire

El general de brigada médico, César Alonso Rodríguez, director de Sanidad del E.A., indicó que el objetivo de su disertación era abarcar las perspectivas del Ejército del Aire sobre el entrenamiento aeromédico para lo que recordó que la Dirección de Sanidad tiene hoy como objetivos fundamentales en este campo:

– Mejorar la eficiencia del Arma Aérea a través del aumento del rendimiento del factor humano (Human Performance Enhancement).

– Aumentar la seguridad de vuelo mediante la protección de las tripulaciones y su entrenamiento.

Los accidentes aéreos, en aproximadamente un 80% de los casos registrados, son debidos a errores humanos achacables a una cadena de deficiencias adicionales, como se simboliza en el gráfico de la página siguiente.

Como acciones a tomar para reducir ese elevado índice, podrían considerarse las siguientes:

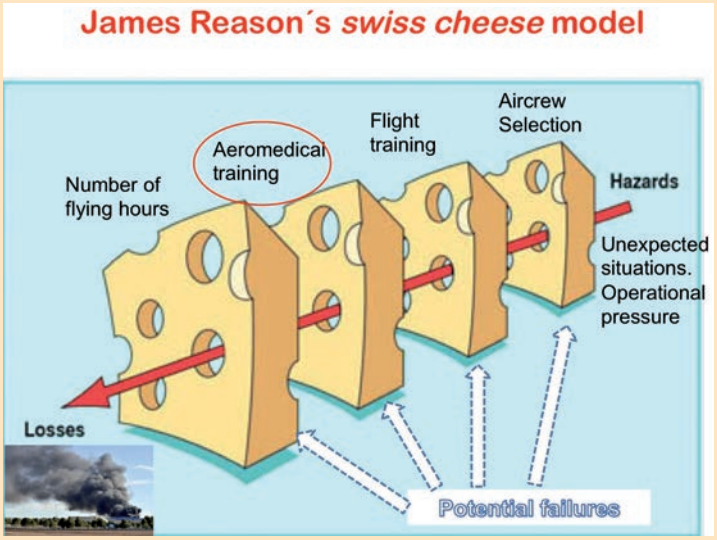
• Mejora de los procedimientos de selección de candidatos en los diferentes niveles de entrenamiento.

• Incremento del número de horas de vuelo, con un entrenamiento de vuelo real y de alta calidad en simuladores.

• Entrenamiento aeromédico en simuladores.

Las carencias en calidad y cantidad en los entrenamientos de vuelo y aeromédico no pueden paliarse sólo aumentando el número de horas de vuelo, sino que, mediante el entrenamiento aeromédico, debemos exponer a los tripulantes aéreos a diferentes situaciones ambientales que pueden surgir en vuelo con las cuales no estén familiarizados,

El general de brigada médico, César Alonso Rodríguez, director de Sanidad del E.A.



Los accidentes aéreos, en aproximadamente un 80% de los casos registrados, son debidos a errores humanos.

para enseñarles a identificarlas y a reaccionar rápidamente ante ellas. Para lograrlo se usan simuladores estáticos y dinámicos, que reducen las diferencias entre vuelo real y el simulador, logrando así el aumento del rendimiento personal de los tripulantes.

Las misiones de aviación militar suponen un reto a la fisiología humana. Por la naturaleza de las mismas y el tipo de aviones militares, sus tripulaciones están expuestas a diversas amenazas entre las que podemos citar:

- Hipoxia
- Enfermedad descompresiva
- Desorientación espacial
- Pérdida de conciencia situacional
- Fatiga
- Estrés térmico
- Ruido y vibraciones
- Alto nivel de Fuerzas G (pilotos de caza)

Por ello, se procura que pilotos y tripulaciones entrenen estas situaciones para desarrollar las habilidades necesarias para hacer frente a dichas amenazas.

La hipoxia (caída brusca de la presión de oxígeno en los pulmones) es peligrosa porque empeora las capacidades cognitivas y físicas, en ocasiones de forma inadvertida, sin tiempo para que se produzca una adaptación fisiológica que pueda compensarla.

Para entrenar a las tripulaciones en altitud se reproducen los niveles reducidos de presión barométrica y de oxígeno, entrenando en la cámara de baja presión.

Entre los objetivos del entrenamiento en cámaras hipobáricas está la exposición de las tripulaciones a bajas presiones barométricas, que actualmente se realiza sin avisar al tripulante en qué momento va a experimentarla.

Recientes estudios demuestran que personas expuestas a presiones hipobáricas de forma mantenida tienen un mayor riesgo de desarrollar hiperdensidades[1] en la sustancia blanca cerebral.

La desorientación espacial consiste en una sensación errónea de la magnitud o dirección de los parámetros de control y comportamiento del avión (performance) en vuelo, que se debe a la falta de adaptación de los sistemas sensoriales, visuales y vestibulares en el medio aéreo, y que puede ser precipitada por factores tales como la saturación de tareas, fatiga o distracciones que pueden conducir a la pérdida de control de la aeronave. Es responsable de aproximadamente el 20% de los accidentes que suceden de día, del 40% de los accidentes que suceden de noche, e incluso de más del 50% de estos últimos cuando el piloto lleva gafas de visión nocturna (GVN).

Las aceleraciones generadas en las maniobras de los aviones de combate producen cambios hemodinámicos importantes, desplazando la sangre del cerebro hacia el tórax (+Gz) y recorriendo en sentido inverso en el curso de otras maniobras (-Gz). Las

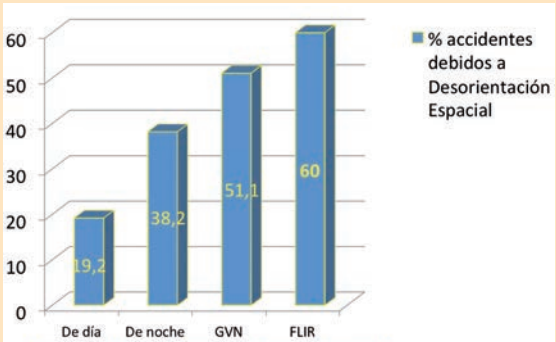
[1]Estas lesiones parecen una complicación de la exposición a muy bajas presiones en las que se produciría una microembolización de las pequeñas arteriolas cerebrales. Las fuentes de microémbolos son principalmente las burbujas de nitrógeno surgidas por la enfermedad descompresiva, trombos formados por plaquetas y micropartículas que actuarían por un mecanismo trombótico-inflamatorio.

Las carencias en calidad y cantidad en los entrenamientos de vuelo y aeromédico no pueden paliarse sólo aumentando el número de horas de vuelo.

fuerzas +Gz pueden inducir pérdida de conocimiento, a pesar de los avanzados sistemas de protección de soporte de vida que llevan los pilotos.

En este sentido, la capacidad de los aviones de combate de 4ª generación de generar de forma rápida altos niveles de G, y posteriormente mantenerlos, es mucho mayor, pues pueden describir maniobras con radios de giro significativamente menores que los aviones de segunda o tercera generación y, por tanto, se debe proporcionar a nuestros pilotos el entrenamiento aeromédico adecuado a este nivel de aceleraciones.

El entrenamiento en altas G se basa en exposición de los pilotos a las mismas en centrífugas humanas para prevenir la aparición de pérdida de conocimiento por altas G, contribuyendo así a reducir el número de horas de entrenamiento en vuelo real y el desgaste del avión para prolongar su vida útil. En la cuarta, la centrífuga situada en Könisgbrük, es donde actualmente se entrenan nuestros pilotos.



	DÍA	NOCHE	GVN	FLIR
D.O.	129	29	91	27
NO D.O.	542	47	87	18
TOTAL	671	76	178	45

EL FUTURO

Hay todavía cuestiones pendientes de resolver en referencia al entrenamiento aeromédico en altas aceleraciones, como si ¿Es suficiente entrenarse en centrifuga una vez en la vida?, o bien ¿hacerlo cada tres años, como se hace con los pilotos de combate?

Respecto al entrenamiento en altitud-hipoxia, durante los próximos años se debería:

- Reducir los niveles de altitud en el interior de la cámara de baja presión para prevenir la aparición de hiperdensidades de la sustancia blanca cerebral.
- Utilizar sistemas combinados de altitud y depleción de oxigeno (CADO), que suponen una menor exposición a niveles bajos de presión.
- Realizar entrenamientos para respirar aire con baja concentración de oxígeno en ambiente normobárico, así como para conocer el deterioro de la visión cromática tras permanencia a 15.000 pies.
- Incorporar el sistema de hipoxia normobárica a los simuladores de desorientación espacial, permitiendo valorar los efectos de la hipoxia en misiones de vuelo simuladas.

Como conclusiones, destacó:

En materia de desorientación espacial, se puede decir que:

- Se están haciendo importantes esfuerzos para mejorar las referencias visuales, haciendo que la percepción del movimiento de los simuladores por parte del piloto reproduzca de forma fidedigna la experimentada en vuelo real.
- Se está instruyendo para hacer que los fenómenos de desorientación espacial tipo 1, no reconocidos por quien la sufre, se conviertan en tipo 2.
- Se pretende entrenar en fenómenos de desorientación espacial durante diferentes misiones.
- Se está incorporando entrenamiento con visión nocturna en los simuladores de orientación espacial y, adicionalmente, la posibilidad de respirar aire con bajas concentraciones de oxígeno.

Respecto al entrenamiento en altas aceleraciones:

- Se pretende que las actuales centrífugas sean simuladores de vuelo dinámicos en los que se puedan generar perfiles de vuelo específicos de cada tipo de avión.
- Se quiere proporcionar en el curso del entrenamiento escenarios reales de combate aire-aire o aire-suelo e individualizar el entrenamiento.
- Se pretende que el entrenamiento en centrífuga se realice cada vez que un piloto sea destinado a un Ala de caza y ataque, cuando no haya volado aviones de esas características durante los dos años previos. Además, se recomienda adelantar el entrenamiento en centrífuga humana, por si el resultado del mismo hiciera aconsejable destinar a alguno de esos alumnos a transporte o helicópteros.

El entrenamiento aeromédico debe incorporar también a pilotos y tripulantes aéreos con experiencia de vuelo en diferentes tipos de aeronaves, para adaptar los perfiles del entrenamiento aeromédico a las necesidades operacionales de cada Unidad.

Por último, resaltó la necesidad de promover la investigación en medicina aeroespacial, especialmente en fisiología de la altitud y de las aceleraciones.

CLAUSURA

El JEMAD durante su alocución.

El XXV Seminario Internacional de la Cátedra Alfredo Kindelán se clausuró el 6 de noviembre de 2015 en las instalaciones del CIMA (Base Aérea de Torrejón, Madrid).

El almirante general Fernando Garcia Sánchez, jefe de Estado Mayor de la Defensa, dirigió a los asistentes las siguientes palabras:

La vigésimo quinta edición del Seminario Internacional Alfredo Kindelán ha tratado y conseguido de forma notable poner de relieve la, cada vez más acuciante, necesidad y gran importancia del entrenamiento aeromédico como el método más eficaz para mejorar la seguridad en vuelo.

Quiero dar las gracias al jefe de Estado Mayor del Ejército del Aire español - general Francisco Javier García Arnáiz - por tan acertada iniciativa, así como al Centro de Guerra Aérea y al CIMA por la excelente organización de este evento.

Con respecto al tema en sí, ofreció las siguientes reflexiones:

1. *"Considero muy importante que antes de que se inicie la formación de nuestros pilotos, se lleve a cabo el correspondiente entrenamiento en cámara de baja presión. Es necesario que en entrenamientos periódicos continúe contemplándose la posibilidad de la utilización de otros recursos, como entrenamiento en hipoxia normobárica o el uso de técnicas combinadas de mezcla de gases y exposición hipobárica por debajo de 10.000 pies (CADO). Es más, en determinados colectivos (pilotos de caza, paracaidistas), se mantiene la posibilidad de entrenamientos específicos para estos colectivos.*

2. *No hay dudas sobre la necesidad de entrenamiento, tanto en desorientación sspacial como en visión nocturna, si bien el futuro parece que pasará por la integración de sistemas en un solo recurso, que ha de ser realista y eficiente.*

3. *Por último, recordar que la exposición a altas aceleraciones exige un entrenamiento específico, que hasta la fecha comparten prácticamente la totalidad de usuarios de aeronaves de altas prestaciones. Se plantea, por tanto, la necesidad de realización de estudios a largo plazo para valorar las implicaciones fisiopatológicas que supondrá dicha exposición durante la vida operacional del piloto".*

Para finalizar, recordó a los asistentes la fortuna que tuvieron de haber podido contar en el Seminario con la presencia de los mejores expertos en este tema tan importante, por lo que les instó a aplicar todo ese conocimiento a su trabajo diario, encomendándoles que recordaran que, si bien las conferencias del seminario habían finalizado, el desafío asociado a ellas apenas había comenzado. ●

XXV Seminario Internacional Cátedra «Alfredo Kindelán»

Retos futuros en el entrenamiento aeromédico

Laboratorio de Visión Nocturna del Centro de Instrucción de Medicina Aeroespacial (CIMA).

Francisco de Asís Ríos Tejada
Coronel Médico
Carlos Velasco Díaz
Teniente Coronel Médico
Beatriz Puente Espada
Comandante Médico

La XXV edición del Seminario Internacional de la Cátedra Kindelán de 2015 ha sido patrocinadora de un foro de discusión dirigido a plantear los problemas más candentes y actuales en medicina aeronáutica y que afectan al desarrollo, aplicación y puesta en marcha de programas de entrenamiento en tripulaciones aéreas.

Para ello se ha contado con la participación de especialistas en la materia de 18 países aliados y con ponentes de gran prestigio internacional en la materia.

HIPOXIA UN PROBLEMA ACTUAL QUE REQUIERE UNA ADECUADA APROXIMACIÓN TECNOLÓGICA

Las primeras muertes relacionadas con la hipoxia en el medio aeronáutico ocurrieron en 1875, cuando *Sivel* y *Crocé Spinelli* murieron a bordo del *Zenith*. *Tissandier*, el único superviviente de aquel vuelo describió con gran exactitud los síntomas de la hipoxia hipobárica que él mismo sufrió. Esos mismos síntomas ya habían sido descritos por el P. José de Acosta en 1590, cuando relató su propia experiencia en las cumbres andinas y están recogidas en su obra "Historia Natural y Moral de las Indias". En octubre de 1999, la prensa divulgaba el accidente aéreo sufrido por el golfista *Payne Stewart* a bordo de su *Lear Jet* cuando volaba a una altitud de 45.000 pies y su avión sufrió una despresurización. En agosto de 2005, 121 personas morían en un avión de pasajeros despresurizado, estrellándose cerca de Tesalónica al norte de Grecia.

La falta de oxígeno en altitud y los fallos en los sistemas de presurización siguen siendo serios problemas aún hoy. El entrenamiento del personal de vuelo, exponiéndose a situaciones similares a las que se pueden encontrar en vuelo real, es de capital importancia para que dichas tripulaciones estén preparadas para reconocer dichas situaciones y actuar de manera adecuada.

Durante muchos años, el entrenamiento en simuladores de altitud como cámaras hipobáricas ha sido el método utilizado en muchos países, especialmente en el seno de la comunidad militar. Sin embargo, problemas como la incidencia de casos de Enfermedad Descompresiva (EDC) y algunos otros como la evidencia en imágenes en resonancia mag-

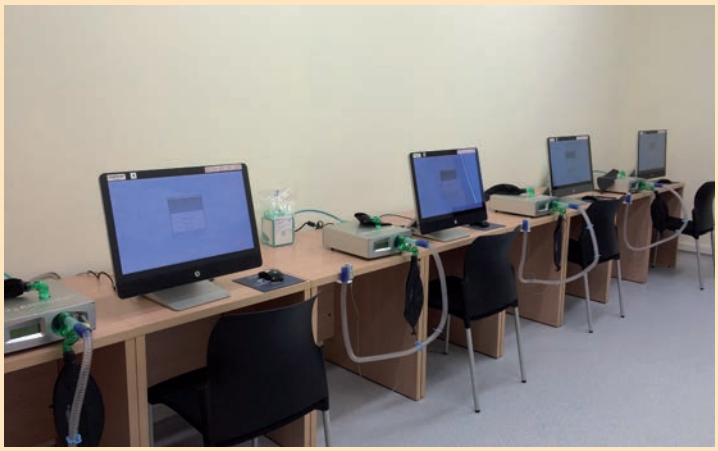


Fig. 1. Sistema de entrenamiento en Hipoxia Normobárica del Centro de Instrucción de Medicina Aeroespacial (CIMA), en Madrid.

nética (MRI) de hiperintensidades en la sustancia blanca cerebral están forzando a la población científica médico-aeronáutica a replantearse la conveniencia de continuar realizando estos tipos de entrenamientos y actividades en ese medio hipobárico/hipóxico.

Siguiendo una serie de casos de EDC neurológica severa en pilotos de U-2, publicada en ASEM en 2010, se evidenció un incremento en la prevalencia de imágenes en resonancia magnética (IRM) de hiperintensidades de sustancia blanca (HSB) cerebral subcortical en los referidos pilotos de U-2 en activo y también en trabajadores en cámara hipobárica sometidos a exposiciones repetidas de situación hipobárica-no-hipóxica (> 50 exposiciones a > 25.000 pies). La severidad de las HSB en pilotos de U-2 puede estar relacionada con EDC pasada, pero permanece significativamente elevada en relación con controles no-tripulantes incluso cuando la EDC ha sido exclu-ida.

Las consecuencias a largo plazo sobre la salud, si es que hay alguna, de las HSB relacionadas con la altitud desarrolladas a una edad relativamente temprana se desconocen actualmente, pero las HSB se incrementan dramáticamente después de los 55 años de edad y se asocian a riesgo aumentado de ACVA, demencia y muerte. La progresión de la HSB se relaciona con deterioro cognitivo global, particularmente importante es el número de exposiciones o el total horas de exposición, pero es posible que exposiciones a hipobarias más intensas sea también importante.

En buceadores sanos expuestos a hiperbarias frecuentes también debería aparecer un aumento de la prevalencia de HSB, incluso sin episodios anteriores de EDC neurológica.

El primer punto discutido en el Seminario estuvo relacionado con el hecho de que la presencia de HSB pueda jugar como factor limitante asociado a la hipobaria, pero no a la hipoxia en los pilotos de U-2. No hay datos claros sobre la incidencia en otros tripulantes o en observadores internos de Cámara Hipobárica (CBP).

El tema principal de la discusión fue el relacionado con el entrenamiento en hipobaria y el uso alternativo o complementario de otros métodos para el entrenamiento en hipoxia, tales como la hipoxia normobárica, o los entrenamientos ROBD o CADO, bajo el marco del correspondiente STANAG, y cómo integrar y personalizar los perfiles de entrenamiento entre una amplia variedad de tripulantes, incluyendo pilotos de aviones de altas características (HPA) que necesitan entrenamiento en respiración a presión positiva (PPB) en altitud.

Algunos países, especialmente Finlandia, proveen de un entrenamiento táctico en simulador de F-18

Fig. 2. Cámara hipobárica del CIMA.

incorporando hipoxia normobárica, y compartieron su experiencia en la así llamada "resaca hipóxica" con disminución de la eficacia del piloto. La figura 1, muestra el sistema de entrenamiento en Hipoxia Normobárica del Centro de Instrucción de Medicina Aeroespacial (CIMA), en Madrid. La USAF también incluye demostraciones de hipoxia en simulador de F-22, si bien otros países solo utilizan la hipoxia normobárica en investigación.

La mayoría de la audiencia estuvo de acuerdo en la necesidad de que el entrenamiento inicial de las tripulaciones debería estar asociado con un vuelo en cámara de altitud (CBP), pero los tipos de re-entrenamiento y los intervalos entre ellos dependerían de las reglamentaciones nacionales. En cualquier caso, se puso de manifiesto la importancia del entrenamiento en descompresión rápida (R/D) y del entrenamiento específico requerido por pilotos de aviones HPA y paracaidistas de misiones HALO/HAHO. Además, se insistió en la necesidad de monitorización completa de los entrenandos y de una supervisión completa de los tripulantes, así como de una educación continuada sobre los peligros de la hipoxia /hipobaria que conduzca a la adopción de las oportunas medidas preventivas y del uso adecuado del equipo personal y de los procedimientos de emergencia. Las figuras 2 y 3, muestran la cámara hipobárica del CIMA.

Hubo consenso sobre la necesidad de realizar un entrenamiento lo más realista posible y de favorecer el desarrollo de un grupo de trabajo en el entorno OTAN, ya esbozado por el EAG, o una proposición a la Agencia de Defensa Europea (EDA), con el fin de definir desde una perspectiva de seguridad de vuelo el coste/beneficio en los diferentes tipos de entrenamiento, personalizado para determinados tripulantes, especificando periodicidades y contemplando el entrenamiento en descompresión rápida.

DESORIENTACIÓN ESPACIAL (DE) Y VISIÓN NOCTURNA (VN)

La Desorientación Espacial[1] (*Spatial Disorientation* - SD o SDO) es uno de los factores contribuyentes más frecuentes en los incidentes y accidentes aéreos, aunque su prevalencia es difícil de establecer. Ello se debe a que en muchos de los accidentes en los que se describe la desorientación espacial como factor son mortales, de modo que nunca se puede asegurar con total certeza; y debido, igualmente, a que en muchas ocasiones se dan fenómenos de desorientación que no conllevan accidente, de manera que se informan en menor cuantía.

[1]Incapacidad del piloto para interpretar correctamente cuál es la actitud, altitud o velocidad de su aeronave, en relación con la Tierra o con cualquier otro punto de referencia.

Fig. 3. Interior de la cámara hipobárica del CIMA.

Es un fenómeno muy frecuente, pues se estima que el 90% de los pilotos ha experimentado en alguna ocasión a lo largo de su carrera alguna forma de desorientación. Los resultados de varios estudios internacionales muestran que la desorientación espacial está presente entre el 6 y el 32% de los accidentes aéreos mayores y entre el 15 y el 26% de los accidentes fatales.

El medio aéreo y la complejidad de movimientos que se pueden realizar ponen a prueba el funcionamiento normal del sistema de orientación humano, lo que aumenta el riesgo de desorientación especial. Por tanto, es un riesgo siempre presente en aviación, y las ilusiones visuales o vestibulares que ocurren pueden provocar una pérdida de la conciencia de situación, y una pérdida de control de la aeronave. Las consecuencias potenciales pueden ser desastrosas. Hay muchos factores que pueden contribuir a la SD: humanos, operacionales, ambientales y otros relacionados con la aeronave, tanto individualmente como de manera combinada.

Es de vital importancia que los pilotos sean conscientes de que la SD puede ocurrirle a cualquiera, en cualquier momento, en cualquier lugar y cualquier aeronave; y que haberla experimentado alguna vez no significa que no pueda volver a ocurrir.

Por tanto, ser consciente del riesgo y estar preparado es fundamental para prevenir accidentes. A lo largo de la Cátedra se repasaron los métodos de entrenamiento y el modo en que se afronta este riesgo en cada país representado.

En ambientes dónde las prestaciones del aparato visual se encuentran disminuidas o degradadas, sin la presencia de referencias visuales adecuadas, para la determinación de la posición y situación de la aeronave, sobre todo en fases críticas del vuelo (despegue, crucero, estacionario, ejecución de la misión, aproximación y aterrizaje), el piloto puede verse inmerso en fenómenos de desorientación espacial y, por consiguiente, realizar o promover maniobras que pueden conducir a pérdida de control o incluso a un accidente.

Entre los factores contribuyentes a estos fenómenos de desorientación se incluyen los errores de percepción respecto a la dirección de movimiento en relación a fuerzas de aceleración en el eje longitudinal o aceleraciones sub-umbral, que no son identificadas por el sistema vestibular.

En el foro dedicado a desorientación espacial y visión nocturna, se planteó el tipo de entrenamiento a realizar y si éste debería ser idéntico inicialmente o durante la revalidación del mismo; parece que sería adecuado diferenciar un entrenamiento básico de otro avanzado y personalizado y adaptado a la experiencia del tripulante.

Es patente la necesidad de integrar entrenamiento en SD y VN, incluyendo escenarios como “Brown Out” y “White Out”.

La figura 4 muestra el Simulador Avanzado en Desorientación Espacial.

FIG. 4.
Simulador Avanzado en Desorientación Espacial.

La Real Fuerza Aérea holandesa ha acumulado en los últimos 20 años una vasta experiencia en este campo, sobre todo con la incorporación del *Desdémona*, considerado como el entrenador más avanzado del mundo, capaz de rotar en todos los ejes del espacio, incluyendo fuerzas traslacionales y aceleraciones +Gz. Dicho simulador está a disposición de países aliados, suponiendo un gran valor añadido en lo que a capacidad de entrenamiento avanzado se refiere. En un futuro próximo estará integrado en red con otros simuladores, aportando unas capacidades y escenarios casi ilimitados.

La Fuerza Aérea finlandesa integra la SD en simulación real, incorporando escenarios del todo realistas, incorpora las emergencias y procedimientos estándares de simulación y, por tanto, aporta un contenido eminentemente práctico.

En todo ello el aparato visual desempeña un papel fundamental y su evaluación, compatibilidad e integración con los sistemas de adquisición de información de la aeronave serán críticos en el establecimiento de los futuros requisitos visuales del piloto. En eses sentido, la USAF ya dispone de simuladores capaces de reproducir escenarios para valorar que capacidades visuales serán necesarias en el contexto de la mejor y más efectiva visión.

La integración de sistemas y la puesta en marcha de escenarios más realistas tendrán sin duda un importante impacto en la accidentabilidad y la incorporación de sistemas en nuevos simuladores, lo que estará cada vez más presente en el desarrollo de nuevos sistemas de simulación. De hecho, en la centrífuga de la Fuerza Aérea polaca ya se integran sistemas de visión nocturna y la cabina/góndola es compatible con la utilización de gafas. No está lejos la posibilidad de integración en cabina de simulación de sistemas de exposición a hipoxia.

Otro elemento de discusión estuvo relacionado con las técnicas y vías abiertas para incrementar la Conciencia de Situación (SA) en todo tipo de aeronaves, teniendo en cuenta la carga de trabajo que puede suponer en sus aspectos cognitivos, el conjunto de tareas a realizar y en tiempo limitado por la propia operación aérea.

En estos casos las técnicas de gestión y entrenamiento en el contexto de Gestión de Recursos de Cabina (CRM) se han demostrado fundamentales en el entrenamiento de tripulaciones, pero su integración en el entrenamiento aeromédico aplicado a la

simulación todavía se mantiene en un terreno muy limitado. En este sentido la Fuerza Aérea alemana dispone de un simulador avanzado de desorientación espacial con configuración doble y, por tanto, capaz de integrar simulación aeromédica en aeronaves politripuladas en un contexto de CRM.

Finalmente, se puntualizó la importancia futura de integrar otras aéreas de información sensorial al entrenamiento, como el sonido tridimensional y fenómenos táctiles.

PROBLEMAS RELACIONADOS CON LA EXPOSICIÓN A ALTAS ACELERACIONES

La exposición a altas aceleraciones, las denominadas G-LOC o A-LOC, es una situación asociada sobre todo a aeronaves de caza de última generación, problema que se asocia a riesgo de incapacitación. Los sistemas actuales de protección frente a la exposición a altas aceleraciones tienen como objetivos prevenir accidentes, pero manteniendo las capacidades y agilidad de la aeronave durante el vuelo y, principalmente, el combate aéreo. Como consecuencia de la exposición a altas aceleraciones no continuas, en el curso de operaciones aéreas, o en situaciones como eyección o impacto, los objetivos de cualquier tipo de protección deben ir encaminados hacia el mantenimiento de las capacidades del piloto, reducir las posibilidades de lesiones asociadas y mejorar la supervivencia.

Hasta la fecha la principal metodología para proveer recursos de investigación aplicada y entrenamiento está basada en el uso de Centrífugas Humanas (CH). La figura 5 muestra la CH de la Fuerza Aérea alemana, pero a pesar de los avances desarrollados en las centrífugas de última generación, este tipo de entrenamiento tiene limitaciones, sobre todo en sus capacidades para simular situaciones semejantes a las esperadas en vuelo real.

Básicamente, las centrífugas humanas son capaces de producir aceleraciones superiores a +1Gz, acercándose a las características de aeronaves de altas prestaciones. Para producir o generar aceleraciones en ejes distintos al longitudinal, la góndola o el asiento del ocupante, puede ser mecánicamente rotado y generar un vector G distinto.

Las centrifugas de última generación, o "Simuladores Bio-dinámicos de Vuelo", son capaces de generar situaciones de "alta maniobrabilidad" y capacidades similares a la de la aeronave convencional y mantener un vuelo controlado bajo diferentes aceleraciones y a diferentes ángulos y ejes de exposición a aceleración. Pero y a pesar de la alta y cara tecnología aplicada, todavía existen serias dudas respecto a cuán realista es el entrenamiento que se provee y cómo debería ser el entrenamiento del futuro. En cualquier caso, a fecha de hoy se está de acuerdo en el interés y relevancia que se provee a los pilotos de caza mediante el uso de centrífugas humanas, pero éste, gestionado de una manera estructurada y coherente, haciendo especial énfasis en los elementos fundamentales y básicos del entrenamiento, y evitando una confianza excesiva en la tecnología aplicada a los sistemas de presión positiva que, a pesar de ser indispensables, no evitan el conocimiento y uso de las técnicas tradicionales de entrenamiento.

El entrenamiento y reentrenamiento de las tripulaciones debería incluir lo básico y fundamental (el conocido *seat on the pants*), revisar aquellas lecciones que nunca deben olvidarse y establecer programas de reentrenamiento integrales y prácticos. Además, deberían incluirse programas de gestión y actuaciones ante tareas complejas de cuyo adecuado manejo se desprendan lecciones de interés para la seguridad de vuelo; toda vez que dichas tareas pueden ser determinantes en la actuación y conducta final del piloto en la cabina. No obstante, la complejidad de dichas tareas no debería interferir en la capacidad del piloto para asegurar un completo control de la aeronave, pues de hecho ambos elementos se muestran interrelacionados.

En un futuro podría considerarse la complejidad de tareas a realizar como relevantes en la interac-

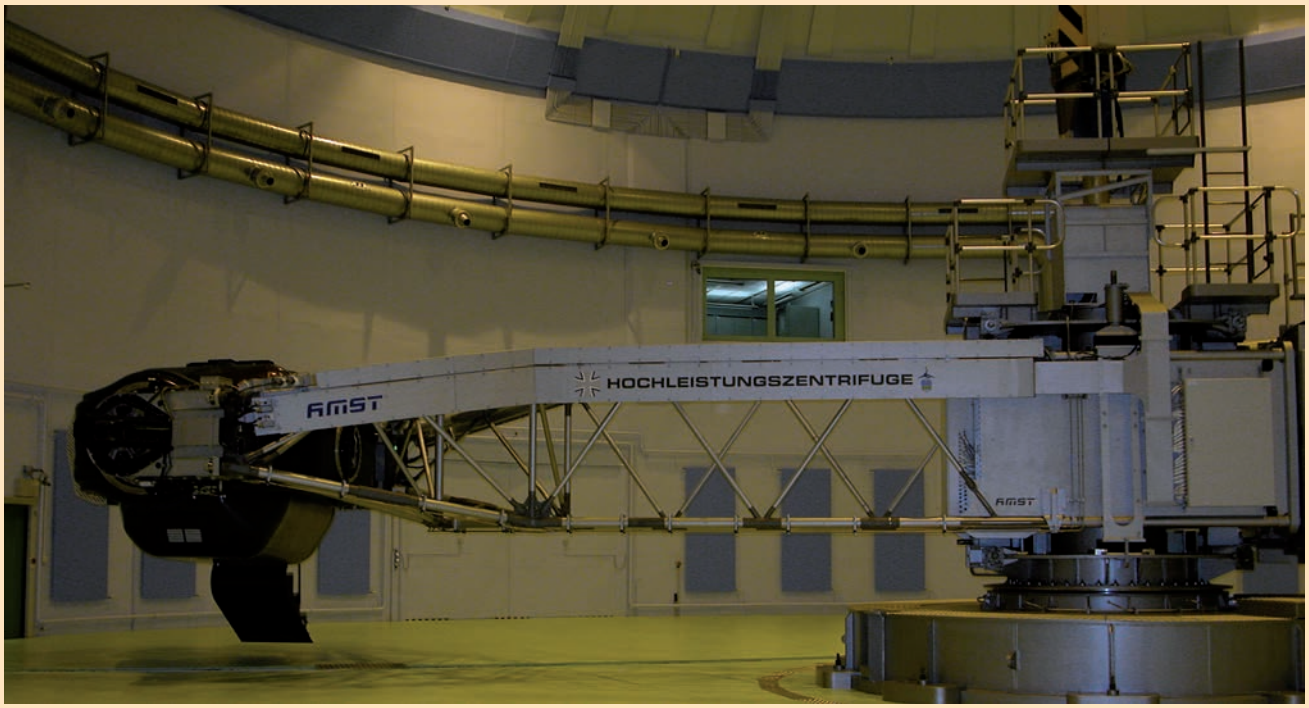


Fig. 5. CH de la Fuerza Aérea alemana.

ción del piloto con la aeronave y, de hecho, así ha sido descrito ampliamente en la literatura sobre el asunto. Factores adicionales como cansancio, estrés, saturación, falta de sueño y otros pueden ser determinantes en el desencadenamiento de errores en tareas incluso no complejas, o ser elementos determinantes en la consecución de actuaciones erróneas durante la elaboración de tareas complejas.

Además, el campo de las aceleraciones y en general de la biodinámica aplicada debe proveer un gran número de oportunidades encaminadas a mejorar los sistemas de protección al impacto en el medio aeronáutico. Un área de especial interés por las implicaciones que conlleva está relacionada con la exposición de la columna vertebral a altas aceleraciones, su protección y medidas de prevención, sobre todo cuando se utilizan dispositivos de protección, además de los sistemas para mejorar sensorialmente las condiciones externas en todo tipo de condiciones (sistemas ópticos, ayudas visuales, NVG, o sistemas de protección antilaser).

Los problemas asociados a exposición a altas aceleraciones y que afectan a la columna vertebral han sido ampliamente descritos en publicaciones científicas desde hace más de 20 años. Más de la mitad de pilotos de combate han sufrido o refieren problemas de columna. Ello supone un serio problema ocupacional y, eventualmente, puede conducir a limitación en las capacidades operacionales del piloto. Ello se relaciona indudablemente con la exposición a altas aceleraciones, en las que el imprescindible equipo personal y, por tanto, carga adicional (casco y/o casco integrado) puede suponer un hándicap y conducir a problemas musculoesqueléticos de diversa índole.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías, se hace imprescindible la investigación y desarrollo para solventar dichos problemas y adecuar aquellas intervenciones preventivas, que combinen la utilización de los equipos con el mayor cuidado musculoesquelético del piloto.

Entre estos aspectos se incluyen: el diseño del casco y sistemas de apoyo cervical, así como de sistemas de retención del torso compatibles con el equi-

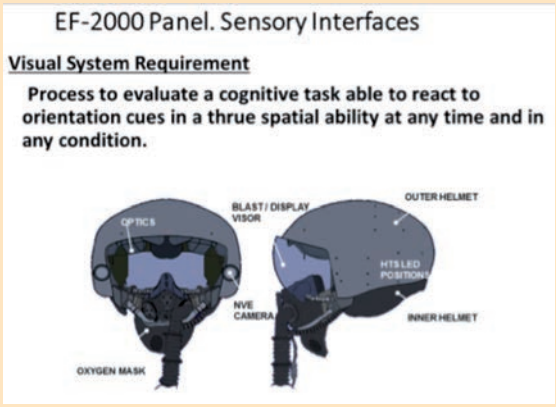
po personal. En cualquier caso, no se es ajeno a lo difícil que resulta dicha tarea, sujeta a multitud de factores y elementos a considerar.

Herramientas de diagnóstico como la resonancia magnética (RM) aplicadas a la valoración del sistema musculoesquelético del piloto todavía están en discusión y quizás necesiten de estudios a largo plazo y longitudinales para valorar su dimensión y sensibilidad en pilotos. Sin duda, deben ser considerados los factores económicos, sobre todo si su utilización es en términos de selección de pilotos.

Finalmente, es crítico que se valoren un conjunto de factores operacionales determinantes en la operación aérea, como el puesto de trabajo, gestión de procedimientos a bordo, equipo personal, circunstancias ambientales relacionadas con la operación aérea y capacidades reales del piloto, tanto físicas, como, cognitivas y mentales, que serán determinantes en la capacidad de control y manejo de la situación por parte del piloto. En este sentido, se muestra fundamental el concepto de Integración Humana en los Sistemas (HIS), única forma de gestionar el papel del operador en los sistemas y plataformas futuras.

En resumen, tres conclusiones principales:

– Importancia en la realización de un entrenamiento fisiológico inicial antes de la instrucción básica de vuelo. Para ello la herramienta fundamental es la Cámara de Baja Presión. En cursos de actualización se abre la posibilidad a la utilización de otros recursos complementarios o alternativos, como sistemas de hipoxia normobárica o combinación de sistemas de respiración con baja concentración de oxígeno en un ambiente de hipo-presión a altitud inferior a 10.000 ft (CADO). En el caso de pilotos de caza y paracaidistas se mantienen los criterios de entrenamiento clásico.



– No existen dudas sobre la necesidad de adecuado entrenamiento en desorientación espacial y visión nocturna. En el futuro la integración de sistemas de entrenamiento permitirán que con una sola herramienta se consiga un entrenamiento más eficaz y realista.

– La exposición a altas aceleraciones se asocia a un entrenamiento específico, que es compartido por la mayoría de usuarios de aeronaves de altas características. Se establece la necesidad de coordinar estudios a largo plazo para la evaluación de las consecuencias de dicha exposición sobre el piloto. •