

# Medios actuales para evitar la pérdida de conciencia por altas aceleraciones

CESAR ALONSO RODRIGUEZ  
*Comandante Médico C.I.M.A.*  
JUAN J. CANTON ROMERO  
*Capitán Médico C.I.M.A.*

**L**a pérdida de conciencia inducida por altas aceleraciones supone una alteración de la percepción de la realidad ambiental como consecuencia de la reducción súbita de la circulación cerebral secundaria a las fuerzas +GZ. Considerando la alta incidencia de las pérdidas de conciencia en el curso de las operaciones tácticas de combate aéreo, y la amenaza que éstas suponen para la seguridad en vuelo, se están haciendo grandes esfuerzos para aumentar el nivel de protección frente a las fuerzas +GZ.

La pérdida de conciencia del piloto secundaria a maniobras del avión que generen aceleraciones longitudinales positivas, principalmente giros cerrados y maniobras de recuperación de picados, puede suponer la pérdida de un nivel de altitud considerable y dependiendo de la velocidad, posición y nivel de altitud previos del avión, puede traducirse en casos en accidentes fatales. Así un avión que se desplace a 500 millas por hora, en los 15 segundos que dura por término medio la pérdida de conciencia puede recorrer 2 millas o perder 10.000 pies de altitud (Burton 1985).

Es difícil evaluar con precisión la incidencia de las pérdidas de conocimiento en vuelo, ya que a la hora de valorar las encuestas realizadas en los tripulantes de los aviones dotados de maniobrabilidad suficiente como para generar altas aceleraciones, tene-

mos que tener en cuenta que en algunos casos los pilotos se muestran reacios a referir sus episodios de pérdida de conocimiento por temor a que ello supusiese el someterles a reconocimientos medicoaeronauticos extraordinarios o a las posibles implicaciones que pudiera tener sobre su carrera. Hay que tener también presente que con frecuencia la pérdida de conciencia pasa desapercibida al piloto, quien experimenta una amnesia de esta fase. Este hecho ya es conocido desde 1940 cuando el Dr. W.K. Stewart tras ser nombrado jefe del laboratorio de Farnborough quiso experimentar visión negra en la centrífuga. Tras la prueba él afirmaba que no había perdido visión alguna. Demostrándose posteriormente mediante fotografías que había estado totalmente inconsciente. A raíz de esta experiencia se reconocieron los riesgos de la pérdida de conocimiento, demostrándose en centrífuga que la pérdida de conciencia no debía estar precedida necesariamente de visión negra (Stewart 1945), hecho que no se ha comprobado en la práctica hasta recientemente con la utilización de los aviones de combate de alta maniobrabilidad, capaces de generar altos niveles de G (más de +7GZ) de forma rápida (más de +7GZ/segundo).

En este artículo queremos revisar las medidas de protección frente a las altas aceleraciones

longitudinales positivas, cuyo primer objetivo es disminuir al máximo el riesgo de pérdida de conciencia del piloto en el curso del vuelo y en segundo lugar mejorar su operatividad en ambientes de altas G.

Las medidas existentes son relacionadas en la tabla 1 y descritas a continuación.

**1. REGIMEN DE VIDA.** Es importante que el piloto lleve una vida ordenada durmiendo al menos siete horas. Evitando situaciones de estrés y realizando un programa de mantenimiento físico.

Los ejercicios deben ir encaminados a desarrollar la musculatura que está implicada en la realización de las maniobras de contracción muscular que más adelante comentaremos. Principalmente se trata de desarrollar la masa muscular del cinturón escapular, del torax, abdomen y cuello según protocolos establecidos (Alonso 1987), que dan prioridad a los ejercicios anaeróbicos.

Si bien se ha dicho que los ejercicios aeróbicos tales como la carrera o el ciclismo pueden disminuir la tolerancia a las aceleraciones, esto sólo sucede cuando se practican en exceso y cuando además no se realizan ejercicios isométricos anaeróbicos. En este sentido es recomendable caminar de una a dos horas diarias, y si se practica carrera que no sobrepase media hora, cuatro días en semana.

**2. REGIMEN DE ALIMENTACION.** Si bien no existe una dieta ideal que aumente la tolerancia a las aceleraciones, la alimentación del piloto de combate debe aportar la energía necesaria y estar equilibrada en su contenido en nutrientes (Alonso 1990). Es importante no volar en ayunas, ni exponerse a altas aceleraciones sin haber realizado una comida en las seis horas antes. Si la comida se hace en las dos horas previas al vuelo, hay que procurar que los alimentos ingeridos sean de fácil digestión, evitando los muy grasos, los muy condimentados, los poco cocinados y los formadores de gas ya que hacen que las digestiones sean lentas y pesadas, especialmente en el curso del vuelo en el que la baja presión produce expansión de los gases del tubo digestivo, pudiendo originar náuseas o dolor abdominal.

No se debe ingerir bebidas alcohólicas en las doce horas previas al vuelo. El café y el resto de las bebidas ricas en cafeína, si bien en pequeñas cantidades pueden ser beneficiosas, no deben tomarse en exceso pues pueden producir palpitations, nerviosismo, irritabilidad y diarrea.

**3. POSTURA DEL PILOTO.** Los efectos de las altas aceleraciones sobre el piloto pueden paliarse al reclinar el tronco de éste, de esta forma se disminuye la distancia vertical del corazón al cerebro y las aceleraciones longitudinales positivas (+Gz) se convierten en transversas (+Gx) cuyo grado de tolerancia es muy superior. En la práctica, modificar la postura del piloto aumentando el ángulo del respaldo del asiento o elevando la pelvis y las extremidades inferiores (postura pale) tiene limitaciones para realizar el escape de la cabina en caso de emergencia y también plantea problemas de columna cervi-

cal pues el piloto se ve obligado a flexionar la cabeza y el cuello en las maniobras de combate. Este problema es patente incluso en los diseños de cabina actuales como en el F-16, en el que el ángulo del respaldo es de 30° ya que se plantean con frecuencia dolores en la región cervical debido al aumento del tono de los músculos del cuello, que está en flexión, por ello la próxima generación de aviones como el EFA y el RAFALE tienen un respaldo de asiento que forma un ángulo de 20° con respecto a la vertical.



que desplazan la sangre hacia la parte inferior del cuerpo, se activa la válvula que introduce aire a presión en el pantalón ANTI-G con lo que se hinchan las vejigas neumáticas hacia el interior al no poderlo hacer hacia fuera por la no distensibilidad del tejido exterior, comprimiendo los tejidos blandos subyacentes y por tanto los vasos, con lo que la sangre no puede acumularse en estas zonas, quedando así disponible en la parte superior del cuerpo por encima del diafragma para así aumentar la presión intratorácica y



*Figuras 1 y 2. Los pantalones Anti-G de última generación ofrecen una cobertura casi total de la mitad inferior del cuerpo, incluyendo a los pies. Fotografías tomadas de Prior y Cresswell. 1989.*

**4. PANTALON ANTI-G.** Es una prenda que abarca el abdomen y las extremidades inferiores, constituida por una capa exterior de tejido no distensible que cubre un sistema de vejigas de goma interconectadas que se hinchan con gas. En el traje convencional hay una vejiga abdominal, dos que rodean los muslos y dos que abarcan las piernas, dejando libre la zona pubiana e inguinal, las rodillas y los pies para permitir la movilidad del piloto.

Cuando el avión realiza maniobras que generan fuerzas +G2

secundariamente el flujo sanguíneo cerebral.

Los trajes de nueva generación, que hasta la actualidad sólo son utilizados de forma experimental, ofrecen una cobertura del 97% de la mitad inferior del cuerpo, llegando a cubrir los pies (full coverage ANTI-G trousers) con lo que ofrecen una mayor protección. La rapidez de hinchado del pantalón ANTI-G depende del tipo de válvula que regule la entrada del aire en la manguera que alimenta el sistema de vejigas, así como del esta-

do de hinchado previo del traje (figuras 1 y 2).

**5. VALVULA DE LLENADO DEL PANTALON ANTI-G.** Las actuales emplean un tiempo de 4-5 segundos en completar el llenado del traje ANTI-G desinchado, lo que es excesivo si tenemos en cuenta la rapidez en conseguir altas aceleraciones en los aviones actuales, del orden de 12G/seg., pudiendo pasar de 1 a 9+Gz en menos de un segundo, lo que supone que cuando se consigue el inflado total del traje ANTI-g, ya hay parte del lecho vascular subyacente distendido por la sangre acumulada. El suministro de gas de la válvula proviene del compresor del motor del avión y sólo en casos aislados del sistema de oxígeno del piloto.

Se han introducido en algunas unidades válvulas de alto flujo con presión disponible (HIGH FLOW READY PRESSURE VALVE) capaces de reducir el tiempo de llenado a solo 1.5 segundos, hoy se trata de conseguir mayores reducciones de este tiempo para hacer frente a la mayor rapidez de aceleración, en torno a los 15G/seg.

**6. MANIOBRAS DE CONTRACCION MUSCULAR.** En la actualidad constituyen el método activo más eficaz para aumentar la tolerancia a las fuerzas +Gz, ya que cuando no se realizan, o cuando se hacen de forma incorrecta se produce una disminución significativa de la tolerancia a las aceleraciones, constituyendo la principal causa de pérdida de conciencia en los entrenamientos en centrífuga humana y también en el curso de la exposición a altas fuerzas G en el vuelo real.

Las dos maniobras de contracción muscular más usadas son la M-1 y la L-1, cuya nomenclatura viene de las primeras letras de la clínica "Mayo" y del Dr. "Leve-

rett", respectivamente. Ambas maniobras consisten en espirar con fuerza el aire contenido en los pulmones contra la glotis semiabierta (maniobra M-1) o totalmente cerrada (maniobra L-1), mientras se realiza una contractura de la musculatura del organismo. A continuación, tanto en la maniobra M-1 como en la L-1 se realiza una inspiración

profunda y corta para permitir un rápido intercambio del aire pulmonar del exterior y así favorecer la oxigenación de los tejidos, para continuar con una nueva inspiración. Hoy se da preferencia a la maniobra L-1 por ser más eficaz y silenciosa que la M-1, cuya realización suele interferir con las comunicaciones.

El entrenamiento de los pilotos en estas maniobras debe de hacerse en ambientes de altas aceleraciones longitudinales positivas ya sea en el curso del vuelo real o bien en centrífuga humana, ya que el realizarlo a nivel del suelo con la gravedad normal de 1G, supondría un aumento considerable de la presión arterial a nivel cerebral, produciendo dolor de cabeza y sensación de mareo y vértigo muy intensos.

A veces el piloto refiere haber perdido el conocimiento, o bien nosotros lo hemos observado en el entrenamiento en centrífuga a pesar de haber realizado las maniobras descritas y ello es debido a que no han sido hechas correctamente. Los errores principales cometidos se relacionan en la tabla 2 y son haber realizado maniobras de contracción muscular demasiado cortas o largas, hacer el intercambio de aire lentamente, permitir escape de aire en el curso de la maniobra, y efectuar contracciones musculares insuficientes (PATCH 1990). Alguna vez se puede llegar a la pérdida de conciencia ante exposición a niveles bajos de aceleraciones a pesar de realizar correctamente la maniobra L-1 como consecuencia de una deficiente forma física, lo que comentaremos más adelante.

Dada la gran importancia que tiene la correcta realización de estas maniobras, que pueden aumentar la tolerancia hasta en 2.5 +Gz, vamos a descubrir los de-

**TABLA 1 MEDIOS DE PROTECCIÓN FRENTE A FUERZAS +Gz**

- 1. REGIMEN DE VIDA**  
Horas de sueño suficientes.  
Programa de desarrollo muscular anaeróbico.  
Ejercicio aeróbico moderado.
- 2. REGIMEN DE ALIMENTACION**  
Dieta equilibrada.  
No volar en ayunas o sin haber comido en las 6 h. previas.  
Dieta de fácil digestión en el curso de las 2 h. previas.
- 3. POSTURA DEL PILOTO**  
Angulo de inclinación del asiento en torno a los 20°.
- 4. PANTALON ANTI-G**  
Traje de cobertura total, incluyendo pies.
- 5. VALVULA DE LLENADO DEL TRAJE ANTI-G**  
Válvulas HFRP, que permiten el llenado en menos de 1 segundo.
- 6. MANIOBRAS DE CONTRACCION MUSCULAR**  
L-1.
- 7. RESPIRAR AIRE A PRESION POSITIVA**  
Aumenta la tolerancia en exposiciones repetidas y prolongadas.
- 8. CHALECO DE PRESION POSITIVA**  
Con la misma presión positiva suministrada a través de la máscara.
- 9. ENTRENAMIENTO EN CENTRIFUGA HUMANA**  
Pleno control por el propio piloto  
Perfil de G igual al de los combates aéreos reales.  
Sistema de seguimiento de target en el hud.  
Utilización del equipo personal completo.  
Registro de actuación y parámetros fisiológicos.
- 10. OTROS**  
Incentivar motivaciones.  
Modificaciones del aire respirado.

fectos en su realización que con más frecuencia conducen a pérdidas de conciencia (PATCH).

## DEFECTOS PRINCIPALES DE LAS MANIOBRAS DE CONTRACCION MUSCULAR

### A. Contracción muscular de corta duración.

Los periodos de espiración forzada contra la glotis cerrada deben tener una duración de 3 segundos, pudiéndose considerar aceptable entre 2.5 y 3.5 segundos. Cuando se produce acortamiento por debajo de este margen, tiene como consecuencia el aumentar la frecuencia respiratoria teniendo que elevar y expandir la caja torácica un mayor número de veces. Así, respirar cada 2 segundos en vez de hacerlo cada 3, significa que hay que expandir el torax 50% más en un ambiente de 8G, lo que significa que los músculos trabajan más a menudo y la fatiga aparece antes.

Realizar contracciones musculares cortas reduce el tiempo durante el que se bombea sangre al cerebro, disminuyendo el aporte de oxígeno al mismo.

### B. Contracción muscular de larga duración.

Cuando se realizan contracciones musculares de duración superior a los 4 segundos se consume el oxígeno existente en sangre arterial, teniendo que recurrir el cerebro a la reserva de oxígeno que puede durar un máximo de 5 segundos, aunque normalmente es muy inferior, pues ya se encuentra parcialmente deplecionada. Si la contracción muscular se prolonga más de 6 segundos es fácil que se produzca una pérdida de conciencia por la hipoxia.

Por otro lado al aumentar la presión intratorácica de forma prolongada se produce una dis-

minución del retorno venoso al corazón desde fuera de la cavidad torácica. Al cabo de 3 segundos se produce una disminución brusca del flujo sanguíneo cerebral, lo que también obliga a utilizar la reserva de oxígeno.

### C. Intercambio de aire lento

Algunos pilotos tratan de expulsar todo el aire de sus pulmones en un corto periodo de tiempo, en los intervalos entre las contracciones musculares de la maniobra L-1, lo que supone tener que realizar a continuación



te la realización de la maniobra de contracción muscular.

La principal diferencia entre las maniobras M-1 y L-1 es que en la primera se permite un escape de aire a través de la glotis parcialmente abierta lo que produce un ruido de gruñido. Por este sonido que interfiere con las comunicaciones y por la mayor pérdida de presión intratorácica es por lo que actualmente se prefiere la maniobra L-1 a la M-1, aunque esta última puede ser casi tan efectiva como la primera



Figuras 3 y 4. El suministro de gas a presión positiva disminuye la fatiga producida por las altas aceleraciones mantenidas, si bien precisa de la utilización del chaleco de contrapresión al que se le inyecta gas a la misma presión que a la máscara. Fotografías tomadas de Prior y Cresswell. 1989.

una inspiración intensa, antes de empezar a realizar una nueva contracción, como no hay posibilidad de intercambiar todo el volumen de aire pulmonar en medio segundo, pues de prolongar este tiempo se produciría una caída intensa de la presión intratorácica y secundariamente del bombeo de sangre al cerebro, se considera suficiente con renovar 1/3 de la capacidad pulmonar, para disminuir el riesgo de pérdida de conciencia.

### D. Permitir escape de aire duran-

cuando el escape de aire que permite es mínimo. El problema sucede cuando la cantidad de aire que atraviesa la glotis es grande, lo que produce una caída de la presión intratorácica y por tanto de la presión arterial sistólica.

Hay pilotos que en el curso de la maniobra M-1 tratan de contener el escape de aire procedente de los pulmones cerrando la boca o los labios, con lo que tienen que aumentar la presión no sólo en los pulmones sino en todas las vías respiratorias altas con lo que

el incremento de presión pulmonar es muy inferior.

**E. Efectuar contracciones musculares insuficientes.**

Una contracción generalizada del organismo incluyendo las extremidades inferiores y superiores debe acompañar a la realización de las maniobras de contracción muscular, de lo contrario el resto del esfuerzo reali-

**TABLA 2. ERRORES PRINCIPALES EN LA REALIZACIÓN DE LAS MANIOBRAS DE CONTRACCION MUSCULAR (Patch 1990).**

- Contracciones musculares de corta duración.
- Contracciones musculares de larga duración.
- Intercambio de aire lento.
- Permitir escape de aire durante la realización de la maniobra.
- Efectuar contracciones musculares insuficientes.
- Forma física deficiente.

zado en estas maniobras en el ambiente de altas aceleraciones longitudinales positivas empujaría la sangre hacia abajo en vez de hacerlo hacia la cabeza. Para ello es muy útil que el piloto presiones sus pies contra el suelo de la cabina para aumentar su apoyo.

**F. Forma física deficiente.**

Es frecuente encontrar un nivel de tolerancia bajo a las aceleraciones en el curso del entrenamiento en centrífuga humana como consecuencia de una mala preparación física. Al tener un desarrollo muscular pobre, especialmente a nivel de cinturón escapular, de los pectorales, abdominales y de la musculatura del cuello, disminuye la eficacia de las maniobras de contracción muscular. Para ello existen programas de entrenamiento físico destinados a aumentar la tolerancia a las aceleraciones.

**7. Respirar aire a presión positiva.**

Este sistema se introdujo en la década de los años cincuenta como medio efectivo de protección

frente a la alta altitud, en 1973 se describió su eficacia para aumentar la tolerancia a las Gs (SHUBROOKS 1973). Este sistema aún no se ha incorporado al equipo personal de los pilotos de los aviones actuales, a pesar de que su desarrollo está muy avanzado y se ha demostrado ser muy eficaz en pruebas hechas en centrífuga humana y en vuelo real, especialmente para aumentar el tiempo de tolerancia a un nivel determinado de aceleraciones y para disminuir la fatiga que produce el esfuerzo de las maniobras de contracción muscular. Así, la tolerancia del piloto relajado a las Gs solo aumenta del orden de 1G (GLAISTER & LISHER, 1976), por lo que este sistema aislado no disminuye de forma significativa la susceptibilidad del piloto a perder el conocimiento en aceleraciones de comienzo rápido, aunque sí a disminuir el cansancio ante exposiciones prolongadas a altos niveles de aceleraciones.

El esquema de suministro de presión a través de la máscara es variable, empezando a funcionar

a niveles entre 2 y 4.5 G. a partir de los cuales se suministra aire a presión que aumenta entre 7 y 11 mmHg cada G sin sobrepasar los 70 mmHg al nivel más alto de G (figura 3).

**8. Chaleco de presión positiva.**

Para evitar la sobredistensión pulmonar secundaria a respirar gas a presión positiva, este chaleco (CHEST COUNTER PRESSURE GARMENT) es de material semejante al del pantalón ANTI-G y abarca el tronco, sin proteger a las extremidades superiores.

La intensidad del aumento de la presión intrapulmonar secundaria a respirar aire a presión va a depender de la contrapresión aplicada al torax, además de la mayor aplicada a abdomen y extremidades inferiores (ERNSTING 1966).

La presión de llenado de chaleco es la misma que la suministrada al piloto a través de la máscara, con lo que el gradiente de presión entre el interior de los pulmones y el exterior de la caja torácica se mantiene constante (figura 4).

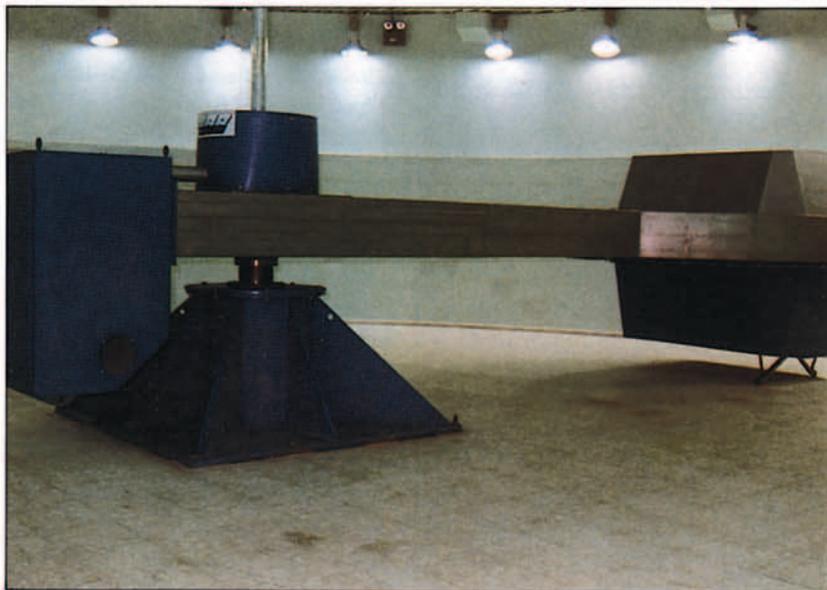


Figura 5. Vista exterior de la centrífuga humana de Eshkeshir (Turquía) de reciente construcción. (Cortesía del Dr. Sacit Kilinger).

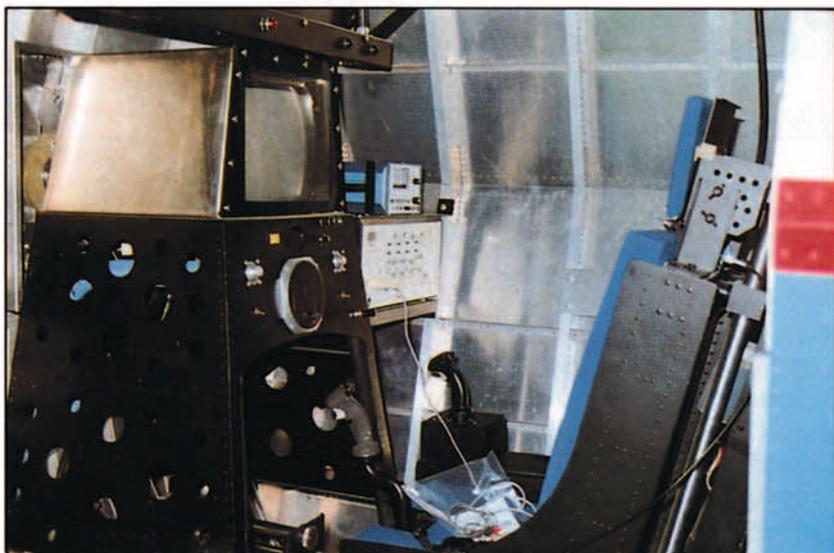


Figura 6. Interior de la góndola de la centrifuga humana de Eshkeshir (Turquia). Los pilotos de F-16 utilizan la palanca del lado derecho para aumentar el nivel de "G", mientras que el resto la del centro (cortesía del Dr. Sacit Kilinger).

**9. Entrenamiento en centrifuga humana.** El entrenamiento en centrifuga humana ha demostrado ser de un gran valor en el entrenamiento fisiológico de los pilotos de caza y ataque (ALONSO 1983), y lo sigue siendo en la actualidad (WHINNER 1990).

Hoy se considera que la góndola de la centrifuga debe reproducir lo más posible la cabina del avión que habitualmente vuela el piloto que se entrena (figuras 5 y 6).

El entrenamiento comienza con una fase realizada con el tra-

je ANTI-G puesto pero desinchado en el que el aumento de la aceleración se hace de forma gradual a 0,1 G por segundo (GOR), y que tiene por objeto servir de orientación y de calentamiento al entrenando, a la vez que proporciona una medida del nivel de tolerancia del mismo, sin protección y estando relajado. En las siguientes fases el nivel de aceleración se alcanza de forma rápida, superior a 3 G por segundo (ROR) y en ellas se reproducen los perfiles característicos de los combates aéreos. Efectivamente,

#### BIBLIOGRAFIA

Burton Rr, Whinnery Je. operational g-induced loss of consciousness: something old; something new. *aviat. space environ. med.* 1985; 56:812-817.

Stewart Wk. investigations on centrifuge forces. *Journal of phisiol.* 1945; 104:7-8.

Patch R. Glc: A Practical Discussion, *Aeromedical Training Digest* 1990; 4: 7-8.

Alonso Rodríguez C. Ejercicios físicos para aumentar la tolerancia a altas aceleraciones, *Revista de Aeronáutica y Astronáutica.* 1986; 548: 879-885.

Alonso Rodriguez C. Velamazán Perdomo V. Alimentación del piloto, *Revista de Aeronautica y Astronautica* 1983; 516: 1.025-1.030.

Alonso Rodríguez C. Medios para aumentar la tolerancia a las

aceleraciones positivas. *Revista de Aeronáutica y Astronáutica* 1983; 516: 1025-1030.

Shubrooks Sj. Positive Pressure Breathing As A Protective Technique During +Gz Acceleration, *Journal Of Applied Physiology* 1973. 35: 294-298.

Glaister Dh. Lisher Bj. Pressure Breathing As A Means Of Enhancing Tolerance To Sustained Positive Accelerations. En *Proceedings Of A Symposium On Biomedical And Biophysical Aspects of oxygen systems.* 17 Reunión del Comité de Coordinación de la Estandarización Aérea. Grupo de Trabajo 61. Farnborough, Hants 1976.

Whinnery J.E Evolving Concepts For Centrifuge Training Of Aircrew. *Aeromedical & Training Digest* 1990, 4: 9-13.

Prior Arj, Cresswell. Flight Trial Of An Enhanced g Protection System In Hawk xx327. *I am Report N ° 678.* 1989.

al existir en la góndola un head-up-display con campo de visión panorámica en el que se reproduce mediante video un target al que el entrenamiento debe aproximarse, para lo que debe aumentar el nivel de aceleración y por tanto de revoluciones por minuto de la centrifuga, de esta forma se producen los niveles de aceleraciones a los que los pilotos deben exponerse en los escenarios reales de combate aéreo.

El propósito principal en la actualidad del entrenamiento en centrifuga es el enseñar al piloto la correcta realización de las maniobras de contracción muscular, corrigiendo los errores que con frecuencia se cometen, descritos en la tabla 2, lo que contribuye a mejorar el grado de seguridad en vuelo.

**10. Otros medios.** Se han descrito la utilidad de las técnicas de relajación para poder realizar mejor las maniobras de contracción muscular, igualmente las medidas psicológicas para aumentar la motivación.

La incorporación de un pequeño porcentaje de anhídrido carbónico a la mezcla de gases respirada, en torno al 3%, se describió ser eficaz antes de que se empezase a utilizar los sistemas de presión positiva.