



FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DESEMPEÑO DE UN PILOTO BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE VUELO – REVISIÓN DE TEMA ¹

FACTORS INVOLVED IN PILOT PERFORMANCE UNDER VARYING CONDITIONS OF FLIGHT - LITERATURE REVIEW ²

rev.ciencia.poder.aéreo. 8: 9 - 20, 2013

Autores

Nancy Esperanza Olarte López³

Yaciro Cabezas Burbano⁴

Gustavo Emilio Echeverry Vásquez⁵

Recibido: 20/05/2013

Aprobado evaluador interno: 07/06/2013

Aprobado evaluador externo: 02/08/2013

Resumen

El propósito de este artículo es determinar cuáles factores influyen en la alteración de algunas medidas fisiológicas y mentales específicas presentadas en los pilotos durante el vuelo y cómo éstas intervienen en su comportamiento, teniendo en cuenta la variable operativa de carga de trabajo, importante en los protocolos de investigación de la aviación. Para estudiar esta variable a fondo tanto en la aviación militar y la comercial es necesario revisar, comparar y contrastar diferentes escenarios, condiciones, aeronaves e individuos, que permitan diferenciar cómo se experimentan estos cambios que a corto, mediano y largo plazo, intervienen en el estado de salud del individuo, llevando en ocasiones a consecuencias nefastas, surgiendo de esta manera cada vez más la necesidad de controlar estas medidas, transmitiéndolas en lo posible en tiempo real para su posterior monitoreo y análisis por parte del especialista, proporcionando de esta forma el incremento en el control y prevención de accidentes aéreos.

Palabras clave: Biotelemetría, carga de trabajo, desempeño, fatiga, medidas fisiológicas, piloto.

Abstract

The purpose of this article is to determine the factors which influence variations presented by pilots during flight in several specific physiological and mental measurements, and how these changes affect their behavior. It takes workload into account as the operational variable, an important factor in the protocol of aviation research. To study this variable in depth, both for military and commercial aircraft aviation, it is necessary to review, compare, and contrast varying scenarios, conditions, aircraft and individuals. Only then is it possible to examine how pilots experience these changes in the short, middle, and long term, and how their health is affected. Given that harmful consequences are sometimes observed, it is recommended that these measurements be monitored and transmitted in real-time for later analysis by specialists, leading to increased oversight and prevention of aerial accidents.

Key Words: Biotelemetry, Fatigue, Performance, Physiological Measurements, Pilot, Workload.

¹Este artículo de revisión de tema es producto del proyecto ING 1202 titulado: Diseño e Implementación de un Centro de experimentación para la transmisión y recepción de datos Biomédicos, proyecto de investigación del Grupo TIGUM (Grupo de Investigación en Telemedicina de la Universidad Militar), del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería – Programa ITEC (Tecnología en Electrónica y Comunicaciones).

²This literature review is a product of the ING 1202, entitled Design and Implementation of an Experimental Center for the Transmission and Reception of Biomedical Data, investigative Project of the TIGUM Group (Telemedicine Research Team of the Universidad Militar), and the Research Center of the Engineering Department—ITEC Program (Technology in Electronics and Communications).

³Ingeniera en Telecomunicaciones, Docente hora cátedra Programa Tecnología en Electrónica y Comunicaciones – ITEC, Asistente de investigación grupo TIGUM, Universidad Militar Nueva Granada. Correo electrónico: nancy.olarte@unimilitar.edu.co Telecommunications Engineer, Assistant Professor in the Technology in Electronics and Communications Program (ITEC), Research Assistant, TIGUM Group, Universidad Militar Nueva Granada. E-mail: nancy.olarte@unimilitar.edu.co.

⁴Especialista Tecnológico en Interventoría de Proyectos en Telecomunicaciones, Ingeniero Electrónico, Docente ocasional Programa Tecnología en Electrónica y Comunicaciones – ITEC, Docente Investigador grupo TIGUM, Universidad Militar Nueva Granada. Correo electrónico: yaciro.cabezas@unimilitar.edu.co Technology Specialist in Project Supervision for Telecommunications, Electrical Engineer, lecturer in the Electronics and Communications Technology Program (ITEC), Professor/Researcher in the TIGUM Group, Universidad Militar Nueva Granada. E-mail: yaciro.cabezas@unimilitar.edu.co

⁵Especialista en Gerencia Integral de las Telecomunicaciones, Ingeniero Electrónico, Docente de Planta Programa Tecnología en Electrónica y Comunicaciones – ITEC, Docente Investigador grupo TIGUM, líder del proyecto institucional: Diseño e implementación de un centro de experimentación para la transmisión y recepción de datos biomédicos - ING 1202, Universidad Militar Nueva Granada. Correo electrónico: gustavo.echeverry@unimilitar.edu.co Integration Management Specialist in Telecommunications, Electrical Engineer, Full Professor in the Electronics and Communications Technology Program (ITEC), Professor/Researcher TIGUM group, project leader Design and Implementation of an Experimental Center for the Transmission and Reception of Biomedical Data—ING 1202, Universidad Nueva Granada. E-mail: gustavo.echeverry@unimilitar.edu.co



1. Introducción

Actualmente los pilotos comerciales y de combate durante el vuelo experimentan cambios físicos y psicológicos, inicialmente debido a condiciones a las que se encuentra expuesta la aeronave, como cambios en la atmósfera, altura, velocidad y otras fuerzas externas; así mismo por condiciones que presenta el piloto como su carga de trabajo, en la que se incluyen los deberes y objetivos a ejecutar.

Los factores que afectan mentalmente al piloto, pueden ocasionar incremento de ansiedad, pánico, estrés y confusión en los procesos cognitivos, asociativos y autónomos (Adams & Ericsson, 2000) perturbando la toma de decisiones y el desarrollo de labores; sin contar que físicamente experimentan alteraciones en su ritmo cardiaco, entre otras medidas fisiológicas debido a la disminución de la presión atmosférica (altitud), lo cual hace que los porcentajes de oxígeno disminuyan haciendo que las maniobras a realizar por el piloto de la aeronave puedan también alterarse. (Benavides Edson, 2007).

Particularmente, desde el punto de vista del ritmo cardiaco, organizaciones internacionales como la ICAO, International Civil Aviation Organization, establecen como requisito médico para el otorgamiento de licencias, que el piloto no presente ninguna anomalía del corazón, por consiguiente, solicita un examen regular electrocardiográfico.

En este sentido, como medida de prevención, varios centros de medicina de aviación, ven la necesidad de contar con herramientas asociadas a la aerobiotelemedicina (medida a distancia de variables biológicas – fisiológicas durante el vuelo) (MMSingh & SKrishnamurti, 2007), que permitan al personal médico monitorear en tiempo real las condiciones a las que son sometidos los pacientes, en este caso los pilotos, para la consecuente identificación, seguimiento y control de anomalías que puedan presentarse durante el vuelo, sin perturbar su actividad normal.

El presente artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: luego de la introducción, el contenido; el cual incluye la importancia de la variable carga de trabajo y la influencia de la misma en el desempeño del piloto, así mismo, se consideran las medidas fisiológicas más importantes y su variabilidad en diferentes estudios realizados bajo varias condiciones y escenarios. Posteriormente, se indican los resultados de dichos estudios, seguido de las conclusiones y recomendaciones por parte de los autores como propuestas de trabajos futuros, luego se tienen en cuenta los agradecimientos y finalmente se presentan las referencias o el soporte bibliográfico del documento.

2. ¿Cuáles factores influyen en el buen desempeño de un piloto de aeronaves?

Desde el momento en que un piloto decide maniobrar una aeronave, se debe enfrentar a factores estresantes, evidenciando un incremento en el nivel de carga de trabajo que debe experimentar, afectando directamente su rendimiento y desempeño. Entre estos factores se encuentran la complejidad de las misiones que debe realizar, el tipo y aumento de la velocidad de la aeronave, los sistemas de cabina, la sobrecarga de información (Hesselink et al, 2001), las amenazas en la seguridad, la toma de decisiones, las tareas de comunicación asociadas a la operación (Sirevaag, Kramer, Reisweber, Strayer, & Grenell, 1993) y el entorno ambiental general, entre otros, exigiendo de esta manera al piloto una mayor precisión de control de un sistema complejo (Lee & Liu, 2003). La Figura 1, evidencia un sinnúmero de factores que intervienen directamente en el aumento de la carga de trabajo del piloto, de tal manera que no sea posible concentrarse totalmente en la planificación y ejecución de sus principales objetivos de manera autónoma.



Figura 1. Factores que intervienen en el aumento de la carga de trabajo. Fuente: Hesselink, et al (2001). On-Board decision support through the integration of advanced information processing and human factors techniques: *The POWER project. National Aerospace Laboratory NLR, Tech. Rep.*

La toma de decisiones de manera autónoma en pilotos ha sido un gran tema de discusión, ya que gran cantidad de accidentes aeronáuticos se han clasificado como "error del piloto" o en otras palabras de índole "humano", en este punto, autores como James Reason abordan este tema desde la respuesta a operaciones o procesos cognitivos, (Reason, 1990) vitales para un buen desempeño y responsables de un óptimo aprendizaje, el autor relaciona a su vez errores basados en: habilidades, reglas y conocimiento; esta clasificación cognitivista conlleva o permite la automonitoreización, para saber cómo, cuándo y por qué las personas cometen errores y con cuáles métodos podrían llegar a disminuirlos.



Por otro lado, se ha demostrado que los pilotos que enfrentan escenarios de conflictos persisten en cometer fallas (Dehais, Tessier, & Chaudron, 2003). De esta manera, en 1977, a través de una extensa investigación la Administración Federal de Aviación determinó que la causa predominante de este tipo de accidentes implica problemas de procesamiento de información cognitiva. Para resolverlos se necesita inicialmente una serie de pasos como modelo de entrenamiento para abordar cambios, donde se debe detectar, estimar, elegir, identificar y evaluar cambios, para luego tener un total desarrollo de procesos cognitivos, los cuales tienen como resultados: atención controlada, reconocimiento de formas, pensamiento dinámico, juicio e intuición. (Adams & Ericsson, 2000).

No obstante, aunque la mayoría de estos procesos se lleven a cabo en el lóbulo frontal del cerebro, no es suficiente contar con un proceso cognitivo experto para evitar accidentes, cuando existen otras medidas fisiológicas que se llegan a alterar durante el vuelo. Tal y como se aprecia en la Figura 2 (Sciarini, 2009). La participación de la mayoría de lóbulos como el occipital, parietal y temporal intervienen también al variar los sentidos básicos del piloto.

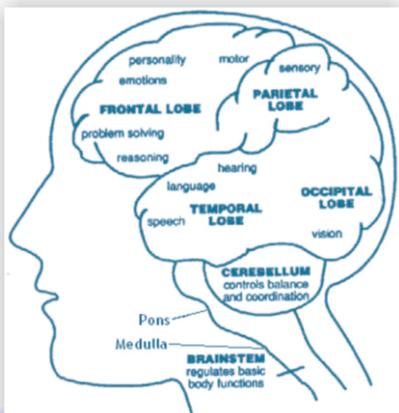


Figura 2. Lóbulos que intervienen en los sentidos. **Fuente:** Sciarini (2009). *Noninvasive physiological measures and workload transitions: an investigation of thresholds using multiple synchronized sensors*. Ph.D. dissertation. Florida: University of Central Florida Orlando.

Así mismo, con carga de trabajo en exceso o mínimos, intervienen no solo los procesos cognitivos, sino se combinarían también las alteraciones fisiológicas que afectan directamente en el desempeño del piloto. La carga de trabajo es una variable importante en casi todos los protocolos de la investigación relacionada con la aviación (Webb, Gaydos, Estrada, & Milam, 2010). Para definir “carga de trabajo” como variable operativa es necesario realizar un profundo análisis, donde finalmente se deduce como un término que: relaciona directamente la cantidad de horas de vuelo diurnas/nocturnas que desempeñe el piloto, ya sea comercial/militar en un tipo de aeronave y escenario específicos, dependiendo directamente de la cantidad de labores a realizar.

Además, se debe tener en cuenta que existe también la carga de trabajo mental y que se define como: “la relación entre los recursos mentales y los suministrados por el humano para la elaboración de una tarea” (Durso & Alexander, 2010).

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, existen factores externos de origen gravitacional, que afectan al piloto según la clase de maniobras realizadas, estas denominadas fuerzas G o de aceleración respecto a un punto de referencia, las cuales se presentan en condiciones ideales (sin atmósfera).

Cuando existe un cambio de dirección y velocidad respecto al punto de referencia se pueden sentir cambios laterales (de lado a lado) y longitudinales (de adelante hacia atrás) que pueden distribuirse en un plano XYZ en un individuo como se muestran en la Figura 3 (Handley, 2001), teniendo como resultados, las fuerzas G verticales (subir y bajar) ocasionando variaciones en la presión sanguínea (Stupakov, Khomenko, & Moscow, 1995), como se aprecia en la Figura 4, donde la presión varía de 78mmHg a -10mmHg en la cabeza, se mantiene en 100 mmHg en el pecho y en los pies varía de 213 mmHg a 1165 mmHg y fuerzas G horizontales (aceleración hacia adelante logrando que la fuerza del cuerpo empuje hacia atrás).

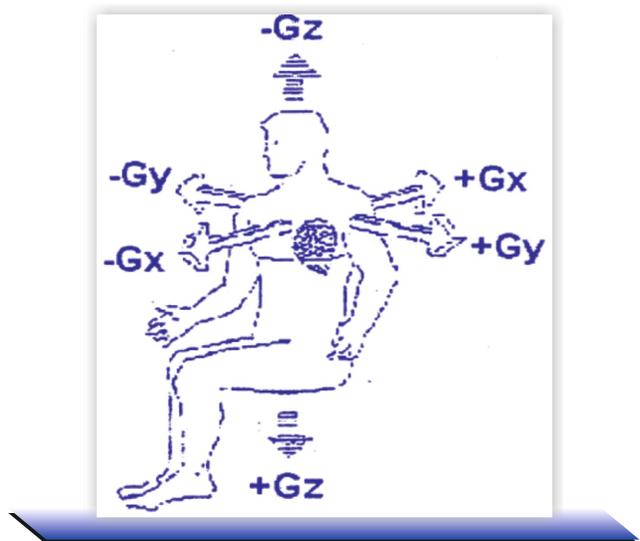


Figura 3. Fuerzas “G” **Fuente:** Handley, K. P. (2001). *Perturbation of carotid sinus transmural pressure during push pull tilting manoeuvres*. p 74. University of Toronto. National Library of Canada.

De éstas fuerzas se deriva el estrés gravitacional y según ciertas maniobras de inclinación durante el vuelo puede llegar a presionar el seno carotídeo del cuello del piloto, llevándolo a un descenso en su presión arterial.

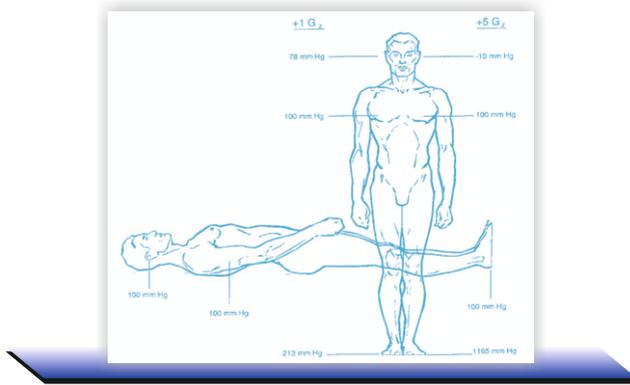


Figura 4. Efectos de la presión sanguínea hidrostática. Fuente: Balldin, U. I. (1995). New advances in physiological measurements during high-G: Technology. *Current concepts on G-protection research and development*. Neuilly-sur-Seine, France: AGARD. AGARD-LS-202.

De ahí que, es de gran interés monitorear las medidas fisiológicas del piloto tanto en tierra como durante el vuelo, no obstante, para esto, es imprescindible utilizar dispositivos para detectar este tipo de magnitudes. En la época de los 90's (Schulze & Barineau, 1992) (Kottas, 1997), varias empresas de tecnología unieron esfuerzos para desarrollar componentes de instrumentación para la captura de medidas, pero es hasta este siglo que se perfeccionaron éstos componentes con una frecuencia de muestreo específica (Miller, 2001) (Sciarini, 2009), tal y como se observa en la Tabla 1, los cuales con precisión son ampliamente implementados para medir la frecuencia de parpadeo o el diámetro de la pupila, la actividad eléctrica del corazón, conductancia a través de la piel y la actividad eléctrica del cerebro, entre otros.

Table 1. Physiological Measures Collected / Tabla 1. Dispositivos para medidas fisiológicas				
Component	Model number	Manufacturer	Physiological Measure	Sampling Rate
Eye tracker	MZ800	Arrington Research	Pupil diameter; Blink Rate	60 Hz
ECG sensor	T9306M	Tought Technologies	Heart Electrical Activity	2048 Hz
Skin Conductance Sensor	SA9309	Tought Technologies	Conductance across the skin	256 Hz
EEG	603-B	Advanced Brain Monitoring	Brain Electrical Activity	256 Hz

Fuente: Sciarini, L. W. (2009). *Noninvasive physiological measures and workload transitions: an investigation of thresholds using multiple synchronized sensors*. Ph.D. dissertation. Florida: University of Central Florida Orlando.

No obstante, al adquirir estas medidas, es necesario visualizarlas, transmitir las y registrarlas para la lectura y seguimiento por parte de un especialista. Es de aclarar que el control de éstas magnitudes no sólo tiene aplicaciones para el control en medicina de aviación, sino también en otras áreas como la medicina del deporte y el monitoreo de animales.

Ahora bien, aprovechando que a través de las telecomunicaciones y tecnologías de la información la medicina ahora puede extender su alcance independientemente de la distancia física entre lugares a través de la transmisión de dos vías en tiempo real (Garshnek, Logan, & Hassell, 1997) se han generado prototipos para el uso de la telemedicina.

Un ejemplo en Colombia es la monitorización mediante telemetría del ritmo cardiaco específicamente para ciclistas de ruta y el cual consta de una unidad remota móvil (URM) acoplada a la bicicleta que digitaliza, registra, procesa y envía la información por un medio inalámbrico, a una unidad base móvil (UBM) la cual se conecta a un computador donde se visualizan en tiempo real las variables monitoreadas en el deportista. Además el equipo tiene la capacidad de operar con uno u ocho ciclistas al mismo tiempo, almacenar, visualizar, graficar e imprimir la información adquirida (Pubiano & Aguilar, 2002).

En ese sentido, manifestando nuevamente la importancia del monitoreo de pilotos, particularmente, en la reglamentación Colombiana para la aviación militar, la Fuerza Aérea Colombiana cuenta con el reglamento FAC 1-28, el cual exige como requisitos psicofísicos generales en cuanto al sistema de conducción eléctrica del corazón, que todo solicitante de cualquier clase de certificado médico, esté exento de trastornos del ritmo cardiaco, como extrasístoles ventriculares sintomáticas (arritmia o latido adelantado con respecto al esperado), fibrilación auricular (FA), enfermedad del seno (síndrome de taquicardia y bradicardia), disociación aurículo-ventricular y trastornos de la conducción, como bloqueo aurículo-ventricular de II grado o mayor, bloqueo completo de la rama izquierda del Haz de His, y síndrome de pre-excitación Wolff -Parkinson- White o Lown Ganong Levine (Benavides Edson, 2007). Además, las arritmias cardíacas durante el vuelo han sido reportadas como consecuencias de aceleraciones prolongadas y con frecuencia en maniobras de origen gravitacional (Torphy, Leverett Jr, & Lamb, 1966).

Debido a la normatividad aeronáutica de cada país, en el año 2007, en el Instituto de Medicina de Aviación en Bangalore (MMSingh & SKrishnamurti, 2007) se llevó a cabo un sistema para el registro de ECG de un piloto bajo tensión real de vuelo en un avión de combate. Para su uso, los latiguillos ECG; es decir un tipo de cable específico, empleado en medicina para el monitoreo de la señal Electrocardiográfica, tenían una terminación RCA, Radio Corporation of America, también denominado CINCH, el cual es un conector utilizado para transportar señales de video o de audio; estos eran conectados a un codificador de bolsillo, luego éste mismo codificador amplifica la señal ECG y modula la frecuencia subportadora a 1Khz aprovechando el canal de radio que tiene la aeronave.

Posteriormente la señal se transmite y se recibe en la banda de radiocomunicaciones VHF, irradiándose a través de la antena montada en la parte superior del fuselaje. De manera similar en el año 2007 en Colombia, también se desarrolló un sistema de monitoreo cardiaco, donde sólo era suficiente la ocupación del canal de voz por 10 segundos, suficientes para obtener un buen registro electrocardiográfico (Benavides Edson, 2007).

3. Resultados

En este espacio se presentan varios estudios, productos del análisis de la carga de trabajo en diferentes escenarios, aeronaves y tipos de piloto. Desde aquí se evidenciará como se alteran las variables fisiológicas, entre ellas el registro de señales y como éstas llegan a afectar al individuo.

- Actividad electrodérmica (Broeks, 2012).
- Temperatura (Callan, 1999).
- Habla (Huttunen, Keränen, Väyrynen, Pääkkönen, & Leino, 2011).
- Respiración (Yao, et al, 2008) (Karavidas, et al, 2010).
- Fatiga o cansancio (Caldwell Jr, Caldwell, Lewis, Jones, & Reardon, 1996) (Van Orden, Jung, & Makeig, 2000) (Lamond, Dawson, & Roach, 2005) (Trimmel, 2008) (Elmenhorst, et al, 2009) (Heinze, et al, 2010) (Roma, Mallis, Hursh, Mead, & Nesthus, 2010) (Dehais, Causse, & Pastor, 2010) (Roach, Sargent, Darwent, & Dawson, 2012).
- SpO2 Pulsioximetría: medición no invasiva de la saturación de oxígeno (Trimmel, 2008).
- EOG: Señal resultante de un Electrooculograma o de registro eléctrico ocular. (Van Orden, Jung, & Makeig, 2000) (Kasarskis, Stehwien, Hickox, Aretz, & Wickens, 2001) (Di Nocera, Camilli, & Terenzi, 2007) (De Rivécourt, Kuperus, Post, & Mulder, 2008) (Saleem & Kleiner, 2005) (Dehais, Causse, & Pastor, 2008).
- Presión Sanguínea (Holewijn, Van de Endt, Rijkelijkhuisen, & Los, 1998) (Trimmel, 2008) (Elmenhorst et al, 2009) (Mills & Harding, 1983).
- ECG: Señal Electrocardiográfica la cual registra la actividad eléctrica cardiaca, frecuencia cardiaca y variabilidad de frecuencia cardiaca (De Rivécourt, Kuperus, Post, & Mulder, 2008) (Trimmel, 2008) (Dussault, Lely, Langrume, Sauvet, & Jouanin, 2009) (Yao, et al, 2008) (Lehrer et al, 2010).
- Actividad cerebral (Pastor & Dehais) (Serman, Schummer, Dushenko, & Smith, 1988) (Causse et al, 2013).

La actividad electrodérmica difiere de persona en persona (Broeks, 2012), este registro varía según la carga de trabajo que el sujeto experimente. Un estudio realizado durante el año 2012, mostró que durante pruebas de

conducción en simuladores para 5 personas novatas y bajo tensión, se podían llegar a tener cerca de 500 respuestas de conductancia de la piel no específicas (NS-SCR), como se puede apreciar en la Figura 5.

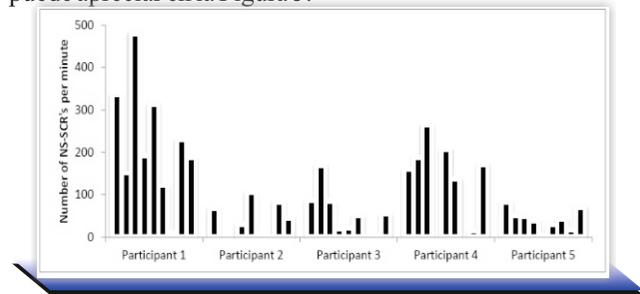


Figura 5. Respuestas de conductancia de la piel no específicas. **Fuente:** Broeks, M. (2012). Exploring electrodermal activity, experienced workload and performance during simulator training. p 17. University of Twente, Faculty of behavioral sciences department cognitive psychology and ergonomics.

Igualmente, un conductor al experimentar bajo condiciones reales (Lee & Liu, 2003) en situaciones de tráfico como autopistas o carreteras, evidencia un incremento de la carga de trabajo, más aún cuando emplea el uso del celular, generando una velocidad media de conducción disminuida un 5,8% en comparación con la conducción normal, pero el tiempo de respuesta promedio se incrementó notablemente (11,9%) para circular por las vías urbanas en comparación con las autopistas.

Pero, al trasladar al sujeto estudio, a un escenario extremo, con niveles de estrés más elevados que el de los conductores de pista o carretera, demanda unas condiciones físicas y mentales muy exigentes (Wood, 1991). Particularmente es el caso de la aviación militar, donde el piloto debe hacer frente a los efectos que tiene la aceleración en humanos y a su vez el tiempo de respuesta de ciertas funciones a ejecutar se vea disminuido, perjudicando así su desempeño.

Incluso en porta aviones se han realizado estudios, ya que a causa del viento turbulento presentado sobre la cubierta del barco, el piloto puede llegar a combinar gran cantidad de maniobras para tener el control de la aeronave, es a causa de esto que se han diseñado modelos simulados específicamente para el helicóptero UH-60, donde se evidencia que la disminución de los movimientos angulares en vuelo estacionario a causa de factores atmosféricos alivia la carga de trabajo del piloto (Horn, Bridges, & Lee, 2006).

Por cierto, las ocupaciones no son las únicas que se ven afectadas, como consecuencia de una carga de trabajo intensa, el piloto puede llegar a presentar desde variaciones en su actividad electrodérmica, ya anteriormente mencionada, incremento en su temperatura periférica (Callan, 1999) y hasta manifestaciones como la pérdida de conciencia (Mumaw, Sarter, & Wickens, 2001).



Pero para entender de manera profunda el concepto de conciencia y su influencia durante el vuelo, se debe considerar el término: Tiempo Útil de Conciencia, éste tiempo permite establecer el lapso temporal en el cual las funciones superiores del individuo permanecen inalteradas dando la oportunidad de realizar maniobras o procedimientos necesarios por contar con un nivel de conciencia adecuado (Murdin, Golding, & Bronstein, 2011) y generando las respuestas necesarias para solventar la situación de forma normal. Este es el tiempo en el que el individuo es consciente y funcional con actividad eficiente (Colombiana, 2010).

A su vez el tiempo de rendimiento efectivo se relaciona con la altitud, tal y como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 2. Relación altitud v.s. tiempo de rendimiento efectivo

ALTITUD (pies)	TIEMPO DE RENDIMIENTO EFECTIVO
18000	20 a 30 minutos
22000	10 minutos
25000	3 a 5 minutos
28000	2,5 a 3 minutos
30000	1 a 2 minutos
35000	0,5 a 1 minuto
40000	15 a 20 segundos
43000	9 a 12 segundos
50000	9 a 12 segundos

Fuente: Colombiana, C. F. (2010). *Manual de Fisiología de Vuelo*. Público. p. 49. Colombia. Comando Fuerza Aérea Colombiana.

Es muy importante tener en cuenta, que en el caso de las aeronaves presurizadas, este tiempo se ve reducido a la mitad. Igualmente, otro parámetro que se altera gradualmente durante el incremento de carga cognitiva en un piloto es el habla, ya que se ha comprobado, mediante pruebas por simuladores aéreos, que la frecuencia fundamental del piloto (F0) aumenta, en promedio 7Hz y la intensidad media vocal aumenta a su vez en 1 dB. En las fases de vuelo más intensivas, (F0) aumentó en 12 Hz y la intensidad media de 1,5 dB.

Por otro lado, la frecuencia respiratoria incrementa en fases como despegue y aterrizaje de una aeronave sobretodo en pilotos no tan experimentados (Yao et al, 2008), además al evaluar la presión de dióxido de carbono espirado (PetCO₂), las variaciones en los niveles de CO₂ fueron proporcionales a los cambios en la carga de trabajo de tareas en un ambiente de simulación de vuelo (Karavidas et al, 2010).

Otra consecuencia que presenta el cuerpo es la fatiga, la cual produce un rendimiento lento e impreciso, generando errores, deterioros en el estado de ánimo y en la motivación por ausencia de sueño (Caldwell Jr, Caldwell, Lewis, Jones, & Reardon, 1996), para reducir la fatiga, se emplearon psicoestimulantes como la Dextroanfetamina, medicamento también empleado como antidepresivo y supresor del apetito (Caldwell) (Preconceito & Prático). En las operaciones

militares, fue utilizado durante la Guerra del Golfo Pérsico en 1991, a lo cual los pilotos de helicópteros norteamericanos manifestaron que su uso, mejoró su desempeño en las misiones nocturnas, después de largos turnos de trabajo. También se han desarrollado dispositivos electrónicos (Lamond, Dawson, & Roach, 2005), para ser utilizados luego de un largo período de vigilia a causa del exceso de trabajo, como herramientas para la vigilancia de tareas psicomotoras en tierra, con aplicaciones en la industria y transporte (Heinze et al, 2010).

Además, largas jornadas de vuelo en el ámbito comercial, ocasionan cansancio (Elmenhorst, et al, 2009), así no se generaren reacciones de manera inmediata del piloto a comparación del de combate. Un estudio realizado en el 2008 evidencia que para vuelos de 7 horas (Viena – Delhi) y de 12 horas (Viena – Tokyo), tanto el piloto como los asistentes de vuelo presentaban incremento en síntomas como estrés, dolor de cabeza, aunque también irritabilidad en ojos y piel o síntomas de dolor o gripa en un menor porcentaje como se muestra en la Figura 6. (Trimmel, 2008). En cambio la saturación de oxígeno SpO₂ fue disminuyendo durante el crucero y fue menor en las fases de vuelo en comparación con el valor basal. Igualmente se ha demostrado que los pilotos de corta distancia también experimentan niveles elevados de fatiga ya que la gran mayoría de ellos inician sus turnos de trabajo de madrugada (Roach, Sargent, Darwent, & Dawson, 2012).

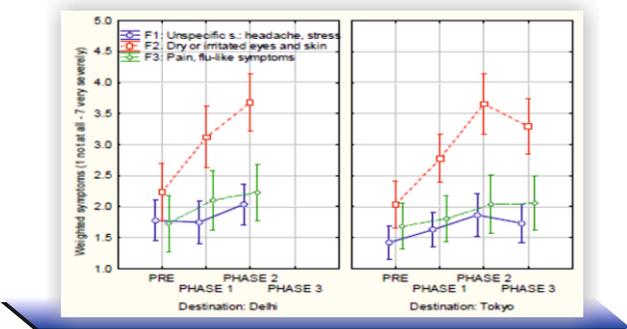


Figura 6. Síntomas presentados durante largos períodos de vuelo. **Fuente:** Trimmel, M. (2008). Environmental Conditions and Psychophysiological Response of Pilots and Flight Attendants in Commercial Long-Haul Flights. *The Ergonomics Open Journal*, 1, p.72. Medical University of Vienna, Kinderspitalgasse 15, A-1095 Vienna, Austria

Incluso, la fatiga afecta la vida cotidiana de los asistentes de vuelo, en investigaciones realizadas en Estados Unidos en 2010 (Roma, Mallis, Hursh, Mead, & Nesthus, 2010), en promedio, los asistentes durmieron 6,3 horas en días de descanso y 5,7 horas en días laborables, conciliaron el sueño 29 minutos después de irse a la cama y despertaron cuatro veces por episodio de sueño. A su vez, a causa de la fatiga se evidencian cambios en la actividad del ojo que disminuyen el rendimiento en tareas de rastreo visual en terrenos (Van Orden, Jung, & Makeig, 2000), generando dolor de cabeza, enrojecimiento de los ojos, aumento de frecuencia del parpadeo, cambios en el diámetro de las pupilas y resecaedad ocular.

Así pues, durante la última década se han tenido avances respecto a investigaciones sobre el comportamiento y la distribución de las fijaciones oculares en pilotos (Di Nocera, Camilli, & Terenzi, 2007) como índice indirecto de la carga mental que éste experimenta durante las diferentes fases de un vuelo simulado, como se observa en la Figura 7, evidenciando como resultados alteraciones en la actividad según los cambios de esfuerzo mental: mayores durante despegue y aterrizaje, inferiores durante el ascenso y descenso y más bajos en la fase de crucero. Pero también se ha demostrado que los cambios oculares son influenciados por las características de las tareas a desempeñar, por lo tanto, se requiere un análisis de las tareas antes de que estas medidas pueden ser utilizados como índices válidos de esfuerzo mental (De Rivecourt, Kuperus, Post, & Mulder, 2008).



Figura 7. Fijación ocular. **Fuente:** Di Nocera, F., Camilli, M., & Terenzi, M. (2007). A random glance at the flight deck: Pilots' scanning strategies and the real-time assessment of mental workload. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 1(3), pp. 271-285.

Así mismo, el desgaste ocular se relaciona con la visualización de los instrumentos dentro de la cabina durante el vuelo, indistintamente durante maniobras de noche o día (Saleem & Kleiner, 2005), pero rastreadores oculares han sido implementados en avionetas, como se muestra en la Figura 8, definiendo 14 áreas de interés en el panel de instrumentos (Dehais, Causse, & Pastor, 2008) y (Dehais, Causse, & Pastor, 2010), donde se demostró que durante el vuelo el instrumento más buscado es el taquímetro, seguido por el de presión de colector y luego la velocidad del aire.

Además, dependiendo si el piloto es experto o novato, se ha encontrado que bajo simulaciones que los expertos demoran menos en su recorrido, se fijan más en los registros de velocidad y menos en el altímetro que los novatos, tienen una mayor definición de exploración en el ojo, pero los aterrizajes fueron precisos independientemente de la experiencia (Kasarskis, Stehwien, Hickox, Aretz, & Wickens, 2001).

Por otro lado, anteriormente se mencionó que a causa de las fuerzas de origen gravitacional, existen variaciones de presión sanguínea durante las diferentes maniobras que tiene

el piloto, pero a su vez se han realizado estudios en donde se demuestra, que particularmente la amplitud de la forma de onda de pulso arterial del oído disminuye con el aumento de la aceleración durante perfiles acrobáticos y el tiempo de tránsito de pulso (PTT) de los oídos aumenta al incrementar la aceleración (Holewijn, Van de Endt, Rijkelijkhuisen, & Los, 1998), reflejando una disminución de la presión arterial a nivel de la cabeza durante estos perfiles. Además, durante el vuelo se presentan fuentes de estrés como el ruido interno (Trimmel, 2008), relevantes para incrementar la presión sistólica y la presión arterial diastólica, independiente de si la trayectoria es corta o larga (Elmenhorst et al, 2009).



Figura 8. Instrumentos al interior de una cabina. **Fuente:** Rivecourt, Kuperus, Post, & Mulder, 2008; Dehais, F., Causse, M., & Pastor, J. (2010). Toward the definition of a pilot's physiological state vector through oculometry: a preliminary study in real flight conditions. *proceedings of HCI Aero*. Toulouse, France. Centre Aéronautique et Spatial ISAESUPAERO, University of Toulouse

Paralelamente, la medida del registro cardíaco es de gran importancia, pero para adquirir esta señal en pilotos, particularmente de combate, es necesario que el piloto este bien rasurado; teniendo en cuenta además, que la ubicación frontal de los electrodos se debe hacer en tres zonas del tórax que tengan menor probabilidad de ser presionadas por algún objeto, como los cinturones de seguridad de la aeronave y en lugares donde el movimiento muscular sea menor (Benavides Edson, 2007).

Pero, aunque es conveniente tener monitoreos en tiempo real y bajo condiciones de carga de trabajo variables, bien sea durante el vuelo o por simuladores, los estudios han evidenciado que, un aumento en la carga de tareas resultó en un aumento de la frecuencia cardíaca (Lehrer, et al, 2010) y una disminución de la variabilidad del ritmo cardíaco (De Rivecourt, Kuperus, Post, & Mulder, 2008) (Dussault, Jouanin, Philippe, & Guezennec, 2005), la frecuencia cardíaca cambia entre períodos de descanso, pero evaluando esta variabilidad durante períodos cortos de trabajo proporciona una visión más clara de los niveles intermedios de esfuerzo mental. Incluso en vuelos comerciales de largo recorrido, durante las fases de despegue y aterrizaje la frecuencia cardíaca incrementa considerablemente, sobretodo en pilotos no tan experimentados (Yao et al, 2008), mientras que en la fase de crucero disminuye (Trimmel, 2008).



Además, existen factores que no son de tipo fisiológico y que también influyen en el desempeño de un piloto al momento de maniobrar una aeronave, entre ellos están, el incentivo económico basado en la remuneración salarial y la edad de los pilotos, la cual hace, que al momento de tomar decisiones se incremente o disminuya la actividad cerebral en el DLPFC (dorsolateral prefrontal cortex) y el VMPFC (ventromedial prefrontal cortex). (Pastor & Dehais) Figura 9, evidenciando una mayor actividad cerebral en el hemisferio izquierdo a comparación del derecho (Sterman, Schummer, Dushenko, & Smith, 1988).

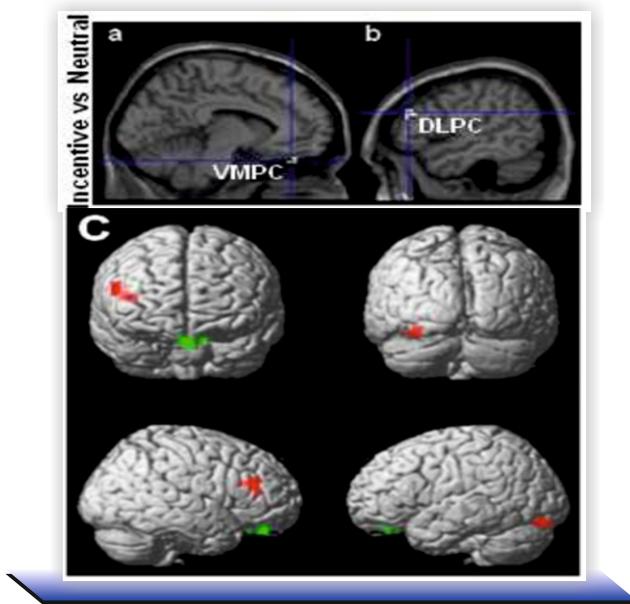


Figura 9. Razonamiento VS Actividad Cerebral. (A) incremento de la activación VMPFC Bilateral, durante el estímulo y la demora de incentivo monetario Vs neutral. (B) incremento de la activación DLPFC derecho durante el estímulo y demora para incentivo durante el estímulo Vs monetaria. (C) Patrones globales de incentivo monetario (verde) y neutral (rojo). Fuente: Pastor, J., & Dehais, F. (n.d.). *Influence of age and reward on piloting performance: a neuroergonomics contribution to aeronautic safety*, p. 14. Doctoral School: Aéronautique Astronautique, Toulouse, France.

4. Conclusiones y Recomendaciones

Son muchos los factores que interfieren en el desempeño de un piloto, cuando vuela una aeronave, los cuales hacen que en mayor o menor medida, su labor se vea afectada; obteniendo así un resultado diferente al esperado de su actividad, dichos factores van desde el tipo de aeronave a maniobrar, cambios de velocidad, gravitacionales, misionales, carga de trabajo y tiempo de descanso entre muchos otros.

Resulta de gran importancia poder monitorear algunas señales o medidas fisiológicas del piloto en tiempo real y a su vez transmitir las de manera segura hacia un centro de control donde un especialista pueda evaluarlas y determinar en un momento dado si, el piloto puede, o no continuar con su

labor. Situación que se torna mucho más crítica o significativa dependiendo del tipo de misión a la que se encuentre sometida el piloto.

Si bien es cierto, existen un sinnúmero de estudios y resultados que muestran y concluyen sobre los muchos factores que alteran el comportamiento y desempeño de un piloto a la hora de maniobrar su aeronave, también es cierto, que varios de ellos, están fuera de alcance desde el punto de vista técnico de ser controlados y/o solucionados; más bien dependen o se originan en un contexto fuera del laboral. De ahí la enmarcada importancia que toma el ámbito social y por ende la emotividad que tenga el piloto en un momento específico.

Si bien es claro para un piloto, que debe contar con óptimas condiciones de salud, por ejemplo el de pilotear una aeronave con sintomatología de gripa puede aumentar los factores de riesgo, pues conlleva a reducir enormemente el tiempo útil de conciencia, que en caso de toma de decisiones puede ser en extremo vital.

Una forma de contrarrestar los niveles de errores de pilotos sería el poder monitorear las expresiones faciales, como la frecuencia de parpadeo, la dilatación de la pupila y otras que revelen alteraciones o fatiga de los mismos.

Establecer una banda de frecuencia en VHF o UHF, destinada realizar la monitorización de los registros fisiológicos y permitir asociarlos a la placa de la aeronave, a fin de obtener un registro único de la información de cada una de ellas.

La constancia con la cual son sometidos los pilotos de aeronaves a pruebas centrifugas o de cámara de altura, permiten identificar el estado de reacción con la que puede contar un piloto al momento de experimentar los diferentes cambios de fuerzas G y la ausencia de oxígeno en el cerebro (Hipoxia).

Lograr condensar en un sistema telemétrico varias señales fisiológicas evita la necesidad de adquirir prototipos o equipos independientes para cada variable, llevando con el tiempo a que estos sean cada vez más portables y con dimensiones físicas reducidas.

La recepción de las señales para la lectura por parte del especialista deben ser de excelente calidad, a su vez se deben implementar programas de software que no produzcan retardos en la visualización simultánea de éstas.

Actualmente, surge la necesidad de desarrollar más herramientas de aerobiotelemedicina. Se sugiere que al implementar más herramientas o prototipos de monitoreo para pilotos, que en lo posible sean portátiles y livianos con sistema de protección al paciente mediante el uso de componentes electrónicos para montaje superficial; a su vez que cumplan con los parámetros de la reglamentación aeronáutica de cada

país para la comunicación de las señales fisiológicas en la banda de operación asignada.

Se debe considerar que para la captura de medidas fisiológicas en tiempo real, existen factores que pueden llegar a afectar la adquisición de estas, como lo son el contacto del electrodo con la piel o el roce de estos con el uniforme del piloto, incluso las maniobras bruscas durante el vuelo pueden perjudicar la lectura.

En la Universidad Militar Nueva Granada, dentro de su grupo de investigación en Telemedicina – TIGUM, desde algún tiempo se ha venido trabajando en diferentes prototipos para la adquisición, acondicionamiento, visualización y transmisión en señales biológicas como: ECG, temperatura, presión sanguínea y respiración. A su vez, en la generación de plataformas para el almacenamiento y registro de este tipo de señales con parámetros de seguridad, aportes que podrían llegar a ser de gran importancia para el apoyo en el monitoreo, seguimiento y control de pacientes en el campo de la medicina de aviación.

5. Agradecimientos

A la Universidad Militar Nueva Granada por la financiación del proyecto de investigación titulado: “Diseño e Implementación de un Centro de experimentación para la transmisión y recepción de datos Biomédicos – ING 1202”, perteneciente al grupo TIGUM – Grupo de Investigación en Telemedicina de la Universidad Militar.

A la Fuerza Aérea Colombiana por su apoyo en el año 2007 en el proyecto “Diseño de un sistema de monitoreo cardíaco para pilotos en vuelo, para el Centro de Medicina Aeroespacial de la Fuerza Aérea Colombiana”.





Referencias

- Adams, R., & Ericsson, A. (2000). Introduction to cognitive processes of expert pilots. *Journal of Human Performance in Extreme Environments*, 5(1), p. 5.
- Ballidin, U. I. (1995). New advances in physiological measurements during high-G: Technology. *Current concepts on G-protection research and development*. Neuilly-sur-Seine, France: AGARD. AGARD-LS-202.
- Benavides Edson, C. D. (2007). *Diseño de un sistema de monitoreo cardiaco para pilotos en vuelo para el Centro de Medicina Aeroespacial de la Fuerza Aérea Colombiana*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá – Colombia.
- Broeks, M. (2012). *Exploring electrodermal activity, experienced workload and performance during simulator training*, p 17. University of Twente, Faculty of behavioral sciences department cognitive psychology and ergonomics.
- Caldwell Jr, J. A., Caldwell, J. L., Lewis, J. A., Jones, H. D., & Reardon, M. J. (1996). *An In-Flight Investigation of the Efficacy of Dextroamphetamine for the Sustainment of Helicopter Pilot Performance*. Tech. rep., DTIC Document. U.S. Army Aeromedical Research Laboratory Fort Rucker, Alabama, United States.
- Caldwell, J. (s.f.). *Uso de Estimulantes en Operaciones Aéreas Prolongadas*. Ejército y Fuerza Aérea de los Estados Unidos.
- Callan, D. J. (1999). *Psychophysiological Measures for Human Attention Lapses During Simulated Aircraft Operations*. Tech. rep., DTIC Document. The Department of the Air Force, Pennsylvania State University. United States.
- Causse, M., Péran, P., Dehais, F., Caravasso, C. F., Zeffiro, T., Sabatini, U., & Pastor, J. (2013). Affective decision making under uncertainty during a plausible aviation task: An fMRI study. *NeuroImage*, 71, pp. 19-29. *NeuroImage*. El Sevier. France.
- Colombiana, C. F. (2010). *Manual de Fisiología de Vuelo*. Público, p. 49. Colombia. Comando Fuerza Aérea Colombiana
- De Rivecourt, M., Kuperus, M., Post, W., & Mulder, L. (2008). Cardiovascular and eye activity measures as indices for momentary changes in mental effort during simulated flight. *Ergonomics*, 51(9), pp. 1295-1319. *Ergonomics*. University Medical Center Groningen, The Netherlands.
- Dehais, F., Causse, M., & Pastor, J. (2008). Embedded eye tracker in a real aircraft: new perspectives on pilot/aircraft interaction monitoring. *Proceedings from The 3rd International Conference on Research in Air Transportation*. Fairfax, USA: Federal Aviation Administration.
- Dehais, F., Causse, M., & Pastor, J. (2010). Toward the definition of a pilot's physiological state vector through oculometry: a preliminary study in real flight conditions. *Proceedings of HCI Aero*. Toulouse, France. Centre Aéronautique et Spatial ISAESUPAERO, University of Toulouse.
- Dehais, F., Tessier, C., & Chaudron, L. (2003). GHOST: experimenting conflicts countermeasures in the pilot's activity. *International Joint Conference On Artificial Intelligence*, 18, pp. 163-168. Toulouse cedex - France.
- Di Nocera, F., Camilli, M., & Terenzi, M. (2007). A random glance at the flight deck: Pilots' scanning strategies and the real-time assessment of mental workload. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 1(3), pp. 271-285. University of Rome "La Sapienza," Italy.
- Durso, F. T., & Alexander, A. (2010). Managing workload, performance, and situation awareness in aviation systems. *Human factors in aviation*, pp. 217-247. Georgia Institute of Technology and Aptima, Inc. United States.
- Dussault, C., Jouanin, J.-C., Philippe, M., & Guezennec, C.-Y. (2005). EEG and ECG changes during simulator operation reflect mental workload and vigilance. *Aviation, space, and environmental medicine*, 76(4), pp. 344-351. Aviation, Space, and Environmental Medicine. Institut de Médecine Aérospatiale du Service de Santé des Armées, Brétigny-sur-Orge Cedex, France.
- Dussault, C., Lely, L., Langrume, C., Sauvet, F., & Jouanin, J.-C. (2009). Heart Rate and Autonomic Balance During Stand Tests Before and After Fighter Combat Missions. *Aviation, space, and environmental medicine*, 80(9), pp. 796-802. Aviation, Space, and Environmental Medicine. Institut de Médecine Aérospatiale du Service de Santé des Armées, Département de physiologie, Brétigny-sur-Orge Cedex, France.
- Elmenhorst, E.-M., Vejvoda, M., Maass, H., Wenzel, J., Plath, G., Schubert, E., & Basner, M. (2009). Pilot workload during approaches: Comparison of simulated standard and noise-abatement profiles. *Aviation, space, and environmental medicine*, 80(4), pp. 364-370. Aviation, Space, and Environmental Medicine. Institute of Aerospace Medicine. Germany.
- Garshnek, V., Logan, J., & Hassell, L. (1997). The telemedicine frontier: going the extra mile. *Space Policy*, 13(1), pp. 37-46. *Space Policy*. ElSevier. Great Britain.
- Handley, K. P. (2001). *Perturbation of carotid sinus transmural pressure during push pull tilting manoeuvres*. University of Toronto. National Library of Canada.
- Heinze, C., Trutschel, U., Schnupp, T., Sommer, D., Schenka, A., Krajewski, J., & Golz, M. (2010). Operator fatigue estimation using heart rate measures. *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, September



- 7-12, 2009, pp. 930-933. Munich, Germany.
- Hesselink, H., Zon, G., Tempelman, F., Beetstra, J., Vollebregt, A., & Hannessen, D. (2001). On-Board decision support through the integration of advanced information processing and human factors techniques: The POWER project. *National Aerospace Laboratory NLR, Tech. Rep.* National Aerospace Laboratory NLR, Netherlands.
- Holewijn, M., Van de Endt, M., Rijkelijhuizen, J., & Los, M. (1998). *Feedback of Anti-G Straining Performance of Pilots: The Use of the Late Ear Pulse Waveform as a Feedback Signal for Blood Pressure*. Tech. rep., DTIC Document. Aeromedisch Instituut, Soesterberg, The Netherlands.
- Horn, J. F., Bridges, D. O., & Lee, D. (2006). Flight control design for alleviation of pilot workload during helicopter shipboard operations. *Annual Forum Proceedings-American Helicopter Society*, 62, p. 2032. Department of Aerospace Engineering, The Pennsylvania State University, University Park, PA USA.
- Huttunen, K., Keränen, H., Väyrynen, E., Pääkkönen, R., & Leino, T. (2011). Effect of cognitive load on speech prosody in aviation: Evidence from military simulator flights. *Applied ergonomics*, 42(2), pp. 348-357. *Applied Ergonomics* Elsevier, Finland.
- Karavidas, M. K., Lehrer, P. M., Lu, S.-E., Vaschillo, E., Vaschillo, B., & Cheng, A. (2010). The effects of workload on respiratory variables in simulated flight: a preliminary study. *Biological Psychology*, 84(1), pp. 157-160. *Biological Psychology* Elsevier, United States.
- Kasarskis, P., Stehwen, J., Hickox, J., Aretz, A., & Wickens, C. (2001). Comparison of expert and novice scan behaviors during VFR flight. *Proceedings of the 11th International Symposium on Aviation Psychology*. United States Air Force Academy Chris Wickens, University of Illinois.
- Kottas, K. (1997). *USAF pilot perceptions of workload assessment in a combat or high-threat environment*. Tech. rep., DTIC Document. Faculty of the Graduate School of Logistics and Acquisition Management of the Air Force Institute of Technology, Air University, Air Education and Training Command In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Logistics Management. United States.
- Lamond, N., Dawson, D., & Roach, G. D. (2005). Fatigue assessment in the field: validation of a hand-held electronic psychomotor vigilance task. *Aviation, space, and environmental medicine*, 76(5), pp. 486-489. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. Australia.
- Lee, Y.-H., & Liu, B.-S. (2003). Inflight workload assessment: Comparison of subjective and physiological measurements. *Aviation, space, and environmental medicine*, 74(10), pp. 1078-1084. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. China.
- Lehrer, P., Karavidas, M., Lu, S.-E., Vaschillo, E., Vaschillo, B., & Cheng, A. (2010). Cardiac data increase association between self-report and both expert ratings of task load and task performance in flight simulator tasks: An exploratory study. *International Journal of Psychophysiology*, 76(2), pp. 80-87. *International Journal of Psychophysiology*, Elsevier, United States.
- Liu, B.-S., & Lee, Y.-H. (2006). In-vehicle workload assessment: effects of traffic situations and cellular telephone use. *Journal of Safety Research*, 37(1), pp. 99-105. *Journal of Safety Research*, Elsevier, Taiwan.
- Méndez Veloza, J. A., & Rentería Rentería, A. (2013). *Diseño e implementación de un instrumento de monitoreo de señales fisiológicas y alarma para pilotos de aeronaves no presurizadas*. Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Electrónica, Bogotá - Colombia.
- Miller, S. (2001). *Workload Measures. National Advanced Driving Simulator*. Iowa City, United States.
- Mills, F. J., & Harding, R. M. (1983). Aviation medicine. Special forms of flight. IV: Manned spacecraft. *British Medical Journal (Clinical research ed.)*, 287(6390), p.478. RAF Institute of Aviation Medicine, Farnborough, Hants. United Kingdom.
- MMSingh, S., & SKrishnamurti, A. C. (2007). Aerobiotelemetry from a Fighter Aircraft. *Indian Journal Aerospace Medicine Special Commemorative Volume* May, 18. Institute of Aviation Medicine, Bangalore - India.
- Mumaw, R. J., Sarter, N. B., & Wickens, C. D. (2001). Analysis of pilots' monitoring and performance on an automated flight deck. *11th International Symposium on Aviation Psychology, Columbus, OH*. The Ohio State University. 2001. United States.
- Muridin, D. L., Golding, J., & Bronstein, A. (2011). Manejo de la cinetosis. *BMJ*, 343, d7430. Intramed, Argentina.
- Pastor, J., & Dehais, F. (n.d.). *Influence of age and reward on piloting performance: a neuroergonomics contribution to aeronautic safety*, p 14. Doctoral School: Aéronautique Astronautique, Toulouse, France.
- Preconceito, C. S., & Prático, A. (n.d.). O Uso de Estimulantes em Combate. *ASPJ Em Português* 1º Trimestre 2009, pessoal de combate aéreo dos EUA.
- Pubiano, J., & Aguilar, N. (2002). Sistema telemétrico de monitoreo cardiaco y variables hombre-maquina aplicado al ciclismo. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad Central, *VI Congreso de la Sociedad Cubana de bioingeniería*, pp. 2-5. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad Central, Bogotá - Colombia.
- Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge University Press, United Kingdom.



- Roach, G. D., Sargent, C., Darwent, D., & Dawson, D. (2012). Duty periods with early start times restrict the amount of sleep obtained by short-haul airline pilots. *Accident Analysis & Prevention*, 45, pp. 22-26. Centre for Sleep Research, University of South Australia, PO Box 2471, South Australia, Australia.
- Roma, P. G., Mallis, M. M., Hursh, S. R., Mead, A. M., & Nesthus, T. E. (2010). Flight Attendant Fatigue Recommendation 2: *Flight Attendant Work/Rest Patterns, Alertness, and Performance Assessment*. Tech. rep., DTIC Document. Office of Aerospace Medicine, Washington, DC United States.
- Russo, M. B., Schmorrow, D. D., Thomas, M. L., & Nunneley, S. A. (2007). Operational Applications of Cognitive Performance Enhancement Technologies. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, United States.
- Sacristán, F. R. (2001). *Mantenimiento total de la producción (TPM): proceso de implantación y desarrollo*. Fundación Confemetal, Madrid - España.
- Saleem, J. J., & Kleiner, B. M. (2005). The effects of nighttime and deteriorating visual conditions on pilot performance, workload, and situation awareness in general aviation for both VFR and IFR approaches. *International Journal of Applied Aviation Studies*, 5(1), pp.107-120. International Journal of Applied Aviation Studies, FAAAcademy Oklahoma City, Oklahoma USA.
- Schulze, A. E., & Barineau, D. W. (1992). *Advanced sensors technology survey*. GE Government Services, Inc. Houston, Texas USA.
- Sciarini, L. W. (2009). *Noninvasive physiological measures and workload transitions: an investigation of thresholds using multiple synchronized sensors*. Ph.D. dissertation. Florida: University of Central Florida Orlando.
- Sirevaag, E. J., Kramer, A. F., Reisweber, C. D., Strayer, D. L., & Grenell, J. F. (1993). Assessment of pilot performance and mental workload in rotary wing aircraft. *Ergonomics*, 36(9), pp. 1121-1140. Aviation Research Laboratory, Institute of Aviation, University of Illinois, Boeing Helicopters, Philadelphia USA.
- Sterman, M., Schummer, G., Dushenko, T., & Smith, J. (1988). *Electroencephalographic correlates of pilot performance: Simulation and in-flight studies*. Tech. rep., DTIC Document. Sepulveda Veterans Administration Medical Center, Neuropsychology Research, Sepulveda, California U.S.A.
- Stupakov, G., Khomenko, M., & Moscow, A. (1995). Increase of high-sustained+ Gz tolerance at the expense of pilot's working posture change. *AGARD, Current Concepts on G-Protection* 12 p(SEE N 95-34050 12-54). North Atlantic Treaty Organization, Neuilly Sur Seine, France.
- Torphy, D., Leverett Jr, S., & Lamb, L. (1966). *Cardiac arrhythmias occurring during acceleration*. Tech. rep., DTIC Document. USAF School of Aerospace Medicine, Aerospace Medical Division (AFSC), Brooks Air Force Base, Texas.
- Trimmel, M. (2008). Environmental Conditions and Psychophysiological Response of Pilots and Flight Attendants in Commercial Long-Haul Flights. *The Ergonomics Open Journal*, 1, p.72. Medical University of Vienna, Kinderspitalgasse 15, A-1095 Vienna, Austria
- Van Orden, K. F., Jung, T.-P., & Makeig, S. (2000). Combined eye activity measures accurately estimate changes in sustained visual task performance. *Biological psychology*, 52(3), pp. 221-240. San Diego California, Naval Health Research Center. Washington DC, Bureau of Medicine and Surgery (M2).
- Webb, C. M., Gaydos, S. J., Estrada, A., & Milam, L. S. (2010). *Toward an Operational Definition of Workload: A Workload Assessment of Aviation Maneuvers*. Tech. rep., DTIC Document. United States: United States Army Aeromedical Research Laboratory Warfighter Performance and Health Division.
- Wood, E. H. (1991). Prevention of the pathophysiological effects of acceleration in humans: fundamentals and historic perspectives. *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE*, 10(1), pp. 26-36. Mayo Foundation and Medical School - United States, IEEE Engineering in Medical and Biology.
- Yao, Y.-J., Chang, Y.-M., Xie, X.-P., Cao, X.-S., Sun, X.-Q., & Wu, Y.-H. (2008). Heart rate and respiration responses to real traffic pattern flight. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 33(4), pp. 203-209. Republic of China, Springer Science+Business Media, LLC 2008.