



Determinación de factores de estrés termico en  
pilotos del escuadrón k-fir de la fuerza aerea  
colombiana

**Alexandra Mejia Delgado**

Trabajo de grado para optar al título profesional:  
**Curso de Información Militar (CIM)**

**Escuela Superior de Guerra "General Rafael Reyes Prieto"**  
Bogotá D.C., Colombia

2012

3153.11  
M344

FUERZAS MILITARES DE COLOMBIA  
ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA



TRABAJO DE GRADO

**DETERMINACIÓN DE FACTORES DE ESTRÉS TÉRMICO EN  
PILOTOS DEL ESCUADRÓN K-FIR DE LA FUERZA AEREA  
COLOMBIANA**

MY. FAC MEJIA DELGADO ALEXANDRA

Alumna Curso Información Militar CIM 2012

Bogotá D.C, Agosto de 2012

## Nota de Aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bogotá, Agosto de 2012

.....A William por su gran amor y su constante e incondicional apoyo para este  
trabajo

.....A Alejandro por ser el motivo más grande de mi existir

.....A los pilotos del Escuadrón K-FIR quienes con su valor y profesionalismo,  
han dejado muy en alto la aviación de combate de la FAC en el mundo

## **RESPONSABILIDAD AUTORES**

El contenido de este documento corresponde exclusivamente al pensamiento de los autores y es de su absoluta responsabilidad. Las posturas y aseveraciones aquí presentadas son resultado de un ejercicio académico que no representa la posición oficial, ni institucional de la Escuela Superior de Guerra, de las Fuerzas Militares o del Estado colombiano.

# CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN ANALÍTICO EJECUTIVO - RAE</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>19</b>
<b>1. JUSTIFICACION</b>	<b>20</b>
<b>2. PROBLEMA</b>	<b>22</b>
2.1 FORMULACION DEL PROBLEMA	22
2.2 OBJETIVO GENERAL	22
2.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS	22
<b>3. DESARROLLO DE CONCEPTOS</b>	<b>23</b>
<b>3.1. PRESENTACION ANTECEDENTES DE ESTRÉS TERMICO</b>	<b>23</b>
3.1.1 Estrés térmico definición	23
3.1.2 Estrés térmico en aviación	23
<b>3.2 MEDICIONES AMBIENTALES</b>	<b>25</b>
3.2.1. Fighter Index of Thermal Stress (FITS)	25
3.2.2. Temperatura y humedad relativa	27
<b>3.3 MEDICIONES FISIOLÓGICAS</b>	<b>27</b>
3.3.1. Marcadores de deshidratación	27
<b>3.4 METODOLOGIA</b>	<b>29</b>
3.4.1. Población a estudio	29
3.4.2. Diseño metodológico	29
3.4.3. Variables del estudio	29

3.4.4. Materiales y métodos.	29
3.4.5. Medición de condiciones de la cabina para estrés térmico.	30
3.4.6. Medición de la respuesta fisiológica de exposición a calor o estrés térmico en los pilotos.	30
3.4.7. Medición de Índice de Estrés Térmico en pilotos de combate (Fighter Index of Thermal Stress FITS).	30
3.4.8. Evaluación de deshidratación.	31
3.4.9. Tipo de recolección de datos y análisis estadístico	31
<b>4. ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS</b>	<b>32</b>
<b>5. DISCUSION</b>	<b>43</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>45</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>49</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1 FITS: EN GRADOS CENTÍGRADOS BAJO SOL DIRECTO	26
TABLA 2 TLV TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA	27
TABLA 3 PARÁMETROS DE DENSIDAD URINARIA	31
TABLA 4 . DATOS DEMOGRÁFICOS	32
TABLA 5 DENSIDAD URINARIA Y CLASIFICACIÓN DE LA DESHIDRATACIÓN (DÍA 1 DESPLAZAMIENTO OPERATIVO EJERCICIO FIGHTER DRAG)	33
TABLA 6 DENSIDAD URINARIA Y CLASIFICACIÓN DE LA DESHIDRATACIÓN (DÍA 2 DESPLAZAMIENTO OPERATIVO EJERCICIO FIGHTER DRAG)	34
TABLA 7 ÍNDICE DE ESTRÉS TÉRMICO EN PILOTOS DE COMBATE (FIGHTER INDEX OF THERMAL STRESS FITS)	35
TABLA 8 TEMPERATURAS MÍNIMAS Y MÁXIMAS – HR MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE CADA VUELO.	38
TABLA 9 VARIABILIDAD CARDIACA Y TLV EXPOSICIÓN A CALOR	40
TABLA 10 TEMPERATURAS MÁXIMAS EN CABINA, TEMPERATURA AMBIENTE Y TEMPERATURA DIFERENCIAL EN GRADOS CENTÍGRADOS CON RESPECTO AL AMBIENTE	41



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 PORCENTAJE DE DESHIDRATACIÓN PRE-VUELO	34
FIGURA 2 PORCENTAJE DESHIDRATACIÓN POST-VUELO	34
FIGURA 3 TEMPERATURAS MÁXIMA Y MÍNIMA REGISTRADAS EN CADA VUELO	39
FIGURA 4 FRECUENCIA CARDIACA MÁXIMA Y MÍNIMA REGISTRADA EN CADA VUELO	39
FIGURA 5 FRECUENCIA CARDIACA Y TLV EXPOSICIÓN AL CALOR	40
FIGURA 6 DIFERENCIAL TEMPERATURA EN CABINA VS TEMPERATURA AMBIENTAL	41

## ANEXOS

Pág.

Figura 1. Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardíaca <b>VUELO No.1</b>	<b>52</b>
Figura 2. Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardíaca <b>VUELO No.2</b>	<b>53</b>
Figura 3. Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardíaca <b>VUELO No.3</b>	<b>54</b>
Figura 4. Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardíaca <b>VUELO No.4</b>	<b>55</b>
Figura 5. Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardíaca <b>VUELO No.5</b>	<b>55</b>
Figura 6. Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardíaca <b>VUELO No.6</b>	<b>56</b>
Figura 7. Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardíaca <b>VUELO No.7</b>	<b>56</b>
Figura 8. Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardíaca <b>VUELO No.8</b>	<b>57</b>
Figura 9. Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardíaca <b>VUELO No.9</b>	<b>57</b>
Figura 10. Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardíaca <b>VUELO No. 10</b>	<b>58</b>
Figura 11. Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardíaca <b>VUELO No.11</b>	<b>58</b>

## RESUMEN

El ambiente térmico en el cual están expuestos los pilotos de combate ha sido objeto de estudio por diferentes entidades a nivel mundial. Es de interés en factores humanos en aviación, conocer cuáles son los factores ocupacionales que puede afectar el rendimiento en nuestros pilotos, es por esto que este estudio constituye una primera aproximación cuantificable a los factores que generan estrés térmico en nuestro medio.

El presente estudio descriptivo fue realizado en el año 2012, durante los vuelos de preparación en el marco previo a la participación ejercicio internacional de combate "Red-Flag"\*, con el objetivo de determinar de forma objetiva los factores ambientales durante los vuelos y su repercusión fisiológica para presentar estrés térmico en once pilotos operacionales del escuadrón K-FIR. Se encontró incidencia importante de deshidratación en los pilotos, así: antes de vuelo (61% con deshidratación leve) y después de vuelo (55% con deshidratación moderada). El Índice de Estrés Térmico en aviación de combate FITS, encontró que 10 de los 11 vuelos analizados, las condiciones de temperatura y humedad relativa ambientales se encontraban en zona de precaución y uno en zona de peligro. El registro simultáneo de temperatura y humedad relativa en la cabina durante los vuelos mostró en promedio una Temperatura MAXIMA: 39.0 grados y Humedad relativa MAXIMA: 74.2%, con un máximo valor de temperatura registrada en cabina de 45.6 grados C; estos son factores ambientales propicios para desarrollar hipertermia y deshidratación en los pilotos. Así mismo, se encontró un aumento en promedio de 9,3 grados centígrados dentro de la cabina con relación a la temperatura ambiental, situación de relevancia fisiológica.

Estos datos sugieren que son necesarios futuros estudios que amplíen aun más el conocimiento sobre esta problemática, análisis de otros factores asociados,

determinar el impacto de este riesgo ocupacional sobre los pilotos, así como también desarrollar programas de prevención de prevención.

**Palabras claves:** deshidratación, temperatura, humedad relativa, FITS, cabina

# ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA



## ESDEGUE-SIIA-CEESEDEN

### RESUMEN ANALÍTICO EJECUTIVO - RAE

#### 1. IDENTIFICACION

##### 1.1 Título

DETERMINACIÓN DE FACTORES DE ESTRÉS TERMICO EN PILOTOS DEL ESCUADRÓN K-FIR DE LA FUERZA AEREA COLOMBIANA

##### 1.2 Autor (es)

Mayor Alexandra Mejía Delgado

##### 1.3 Nombre del Tutor(a)

Harold Rodríguez

##### 1.4 Programa

Curso de Información Militar CIM 2012

Escuela Superior de Guerra

##### 1.5 Área de énfasis

Investigación Científica

##### 1.6 Institución a la cual se presenta el trabajo

Escuela Superior de Guerra-ESDEGUE

##### 1.7 Lugar y fecha de edición

Bogotá, Agosto de 2012

## **1.8 Número de páginas**

68

## **2. ANÁLISIS**

### **2.1 Palabras claves o descriptores**

Palabras claves: deshidratación, temperatura, humedad relativa, FITS, cabina

### **2.2 Resumen o descripción breve del trabajo**

Estudio descriptivo realizado en el año 2012, durante los vuelos de preparación para la participación en el ejercicio internacional de combate "Red-Flag"\*, con el objetivo de determinar de forma objetiva, los factores ambientales en los vuelos y su repercusión fisiológica, asociados a estrés térmico en once pilotos operacionales del escuadrón K-FIR. Se encontró incidencia importante de deshidratación en los pilotos, así: antes de vuelo (61% con deshidratación leve) y después de vuelo (55% con deshidratación moderada). El Índice de Estrés Térmico en aviación de combate FITS, encontró que en 10 de los 11 vuelos analizados, las condiciones de temperatura y humedad relativa ambientales se encontraban en zona de precaución y uno en zona de peligro. El registro simultaneo de temperatura y humedad relativa en la cabina durante los vuelos mostró en promedio una Temperatura MAXIMA: 39.0 grados y Humedad relativa MAXIMA: 74.2%, con un máximo valor de temperatura registrada en cabina de 45.6 grados C; estos son factores ambientales propicios para desarrollar hipertermia y deshidratación en los pilotos. Así mismo, se encontró un aumento en promedio de 9,3 grados centígrados dentro de la cabina con relación a la temperatura ambiental, situación de relevancia fisiológica

### **2.3 Contenido**

La aviación de combate expone al piloto a una serie de factores de estrés, dentro de los cuales se encuentra el stress térmico, el cual se produce, por

ejemplo, con la exposición a temperaturas elevadas antes del despegue (durante las fases de prevuelo, encendido, taxeo y en espera para el despegue) en un clima cálido. Asociado a fuentes que generan temperatura se encuentran: la radiación proveniente de la atmosfera y de los elementos eléctricos de la cabina, convección proveniente de corrientes de aire cerca a la cabina y proveniente de los motores y del efecto invernadero generado por la cabina cerrada y metabólico por el piloto. Para el presente estudio se realizaron mediciones ambientales y fisiológicas, así:

**Medición de condiciones de la cabina para estrés térmico:** Se utilizó un termo higrómetro digital portátil que se instaló con un soporte adaptado en la cabina de las aeronaves KFIR. Se realizó el monitoreo sincronizado y registro simultáneo de Temperatura (en grados Centígrados) y Humedad Relativa (Porcentaje) durante todos los segmentos del vuelo en diferentes vuelos.

**Medición de la respuesta fisiológica de exposición a calor o estrés térmico en los pilotos:** se utilizó un monitor de frecuencia cardiaca tipo Polar RS800CX durante los vuelos. De acuerdo a la recomendación de la American Conference of Governmental Hygienist ACGIH -2009, la frecuencia cardiaca no debe sobrepasar de 180 pulsos/min menos la edad del trabajador expuesto al calor.

**Medición de Índice de Estrés Térmico en pilotos de combate (Fighter Index of Thermal Stress FITS).** Se tuvo en cuenta la temperatura ambiental de bulbo seco y la humedad relativa ambiental en la estación. Estos datos que fueron suministrados por la estación meteorológica del CACOM-3 y el CACOM-1. La información se cruzo en las tablas establecidas por la Fuerza Aérea de los EEUU para este índice denominado Fighter Index of Thermal Stress.

**Evaluación de deshidratación:** Se realizó el análisis de la muestra de orina recolectada en la fase de alistamiento (prevuelo) y en una segunda muestra recolectada de cada individuo en el periodo inmediato post-vuelo. Se determinó la densidad urinaria pre y post vuelo de dos vuelos de entrenamiento.

## 2.4 Metodología

### Población a estudio

La población de estudio la constituye once (11) pilotos operacionales del equipo K-FIR que realizaron entrenamiento para participar en el ejercicio operacional RED FLAG.

**Materiales y métodos:** estudio observacional descriptivo transversal, realizado en el año 2012 durante los meses de marzo a julio, con un total de 11 pilotos que aceptaron participar en la investigación. Se realizó monitoreo cardiaco durante diferentes vuelos. Durante los mismos se registró la temperatura y humedad relativa de la cabina de avión K-FIR. Así mismo, se determinó el Índice de Stress Térmico FITS del ambiente con información suministrada por la estación meteorológica local de la Base Aérea CACOM-3 Malambo, Atlántico y la Base Aérea de CACOM-1 Puerto Salgar, Cundinamarca

## 2.5 Conclusiones y recomendaciones del trabajo

- La presencia de factores que pueden generar estrés térmico, tanto en el ambiente local como en la cabina de los aviones K-FIR, es importante, así mismo la alta incidencia de deshidratación encontrada. Estos se deben considerar como un factor de interés fisiológico ya que potencialmente podría llegar a afectar el adecuado desempeño físico y cognitivo de los pilotos.
- Es relevante el hallazgo de la temperatura registrada dentro de la cabina es mayor que en el ambiente, en promedio 9,3 grados centígrados por encima de la ambiental.
- Se deben implementar y mantener programas de acondicionamiento físico en el personal de pilotos de K-FIR, con el fin de mejorar la respuesta cardiovascular y aumentar la resistencia a estrés térmico. Así mismo, este personal debería mantenerse con un Índice de Masa Corporal dentro de límites normales
- Considerando que en los hallazgos relevantes del presente estudio fue determinar que la mayor exposición de los individuos a altas temperaturas y humedad relativa, ocurre principalmente en el PERIODO ANTES DEL DESPEGUE, estos resultados sirven de



soporte académico para poder sugerir cambiar el procedimiento de prendida y el taxeo con carlinga abierta

- El otro periodo donde se registro pico máximo de temperatura fue PERIODO ATERRIZAJE HASTA LA APAGADA: (temperatura de 44 grados), sugiere la necesidad de evaluar la causa y posible solución, y verificar el procedimiento de alistamiento de ambiente de cabina antes del aterrizaje.
- Es importante considerar el impulso al desarrollo de tecnología en el diseño de equipos y trajes de refrigeración para los pilotos, estrategias de prevención como incentivar una cultura de adecuada hidratación, por lo que se debe contar con fuentes de hidratación de fácil acceso en las unidades.

## 2.6 Fuentes Bibliográficas

AMSTRONG LE, et al. Urinary Indices of hydration status. Int. J. Sport Nutr. (4), 265-279. 1994

BALDIN UI et al. Rehydration and G tolerance, psychomotor performance and muscle function. Aerospace Medical Association Annual Scientific Meeting. Aviat. Space Environ. Med. 1984 ;55:467:

DELIGNIERES D, et al. IX th European Congress on Sport Psychology. Bruxelles, 1995 (FEPSAC) Effects of Heat Stress and time on task on reaction time. University of Montpellier

DOUGLAS J. Casa, et al. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes. Journal of Athletic Training, 2000; 35 (2): 212-224

EPSTEIN Yoram, MORAN S (2006) Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. Review Article. Industrial Health 2006, 44, 388-398.

FLIGHT SAFETY FOUNDATION. Aviation Medicine: Dehydration presents unique risks for pilots.. Vol 48 No. 4 July- August 2001

GONZALEZ, Alonso J, et al. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise J Appl Physiol 82:1229-1236, 1997

JAIN PK et al. Heat stress in fighter-upgrade aircraft. .Ind J Aerospace Med 46(1), 2002

NUNNELEY SH, Stribley F (1979) FITS. Fighter Index of Thermal Stress: Development of Interim Guidance for Hot Weather Aircraft Operations. USAF School of Aerospace Medicine AFSC. Brooks AFB, Texas. 78235

\_\_\_\_\_, SA. Et al. Physiological effects of solar heat load in a fighter cockpit. Aviat Space Environ Med. 1976 sep; vol.47 (9) pp. 967-73

\_\_\_\_\_, Et al. Heat Stress in the A-10 cockpit: flights over desert. Aviat Space Environ Med. 1981. Sep; 52 (9): 513-6

\_\_\_\_\_, et al. Physiological effects of solar heat load in fighter cockpit. Aviat Space Environ Med. 1976 Sep; vol 47 (9): 969-73

\_\_\_\_\_, et al. Heat temperature effects on physiology, comfort, and performance during hyperthermia. Aviat Space Environ Med 1982; 53:623-628

Norma ISO 7342 Índice de Temperatura Global de Bulbo Húmedo: WET BULB GLOBE TEMPERATURE INDEX (WBGT)

OZAKI H, SAKAGAMI J, KAI Y, NAGAYA T, OGAWA W (Southwestern Composite Air Division). Thermal Stress and Thermal Strain of JASDF Pilots and Cockpit Environment during Flight. Reports of Aeromedical Laboratory. ISSN: 0023-2858. Vol. 43; No. 3; Page. 25-34(2003)

PALLAVI, S. "Evaluation of pre take-off heat stress in a modern fighter cockpit: A field study". Ind J. Aerospace Med 51 (2), 2007

SHIRREFFS SM. "Markers of hydration status". European Journal of Clinical Nutrition (2003) 57, Suppl 2, S6–S9

Thermal Stress. Fundamentals of Aerospace Medicine. Fourth Edition 2008. Chapter 7: 206 – 219. Philadelphia: Lippincott, Williams, and Wilkins.

WEINSTEIN E. Importance of Fluid Replenishment during Physical Activity and Exercise. Ohalo and Tel-Hai Academic Colleges, Israel, Tel-Hai and J&S Academic Colleges, Israel and The Ribstein Center for Research and Sports Medicine, Wingate Institute, Israel

Páginas de Internet:

American Conference of Industrial Hygienist (ACGIH)  
[www.acgih.org/home.htm](http://www.acgih.org/home.htm)

[www.zonaclima.com](http://www.zonaclima.com) — [www.meteovista.com/north-america/united-states/las-vegas/](http://www.meteovista.com/north-america/united-states/las-vegas/)

## INTRODUCCION<sup>1</sup>

Las condiciones térmicas elevadas a las cuales están expuestos los pilotos de aeronaves de combate pueden afectar el rendimiento y la tolerancia a las fuerzas de gravedad, lo que puede repercutir de forma negativa en la seguridad aérea<sup>2</sup>. Considerando que las aeronaves de combate de la Fuerza Aérea Colombiana se encuentran destacadas en unidades que característicamente se encuentran en ambientes calurosos, se hace necesario explorar de qué forma este riesgo ocupacional, produce un impacto en las tripulaciones. Este es el primer estudio en la Fuerza Aérea Colombiana que explora esta condición.

Se describe en la literatura científica los efectos adversos que el estrés térmico produce sobre el rendimiento en la actividad física y en el desempeño cognitivo en los individuos, cuando la pérdida hídrica excede tan solo el 2% de masa corporal (lo que equivale a perder 3% del agua corporal total)<sup>3</sup>. Esto es importante para la aviación, si se tiene en cuenta que se afecta principalmente el desarrollo de tareas que requieren atención sostenida, y su magnitud se correlaciona con la duración de la exposición<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> RED FLAG: Principal ejercicio de entrenamiento de combate aire-aire en el mundo. Cuenta con participación de los EEUU y países aliados en combate aéreo. <http://www.nellis.af.mil/library/flyingoperations>

<sup>2</sup> NUNNELEY SA, et al. Physiological effects of solar heat load in fighter cockpit. *Aviat Space Environ Med.* 1976 Sep; vol 47 (9): 969-73

<sup>3</sup> Ibid. Reader DC, Maldonado RJ. Heat temperature effects on physiology, comfort, and performance during hyperthermia. *Aviat Space Environ Med* 1982; 53:623-628

<sup>4</sup> DELIGNIERES D, et al. IX th European Congress on Sport Psychology. Bruxelles, 1995 (FEPSAC) EFFECTS OF HEAT STRESS AND TIME ON TASK ON REACTION TIME. University of Montpellier

# 1. JUSTIFICACION

## JUSTIFICACIÓN INSTITUCIONAL E IMPACTO ESPERADO

En el marco de la preparación de los pilotos del Escuadrón de Combate K-FIR que participaran en el ejercicio multinacional de RED-FLAG 2012 en Las Vegas – Nevada, es una preocupación fisiológica el ambiente térmico para la época en que será desarrollado el ejercicio, ya que la temperatura que se encontrará en promedio será de 40 grados centígrados con una humedad relativa de 19 por ciento en un clima desértico<sup>5</sup>, estas son condiciones propicias para desarrollar estrés térmico en los individuos que participaran en dicho ejercicio, lo que debe tenerse en consideración como un potencial riesgo fisiológico para las misiones.

Este estudio busca determinar de manera objetiva, algunos factores que influyen en la aparición de estrés térmico en los pilotos del escuadrón K-FIR. Los resultados del presente estudio no solo serán de utilidad en la preparación fisiológica del personal que participará en este ejercicio, sino que también, será la base para la realización de otros estudios que profundicen el tema y evalúe otros aspectos que influyen en estrés térmico, así como la aplicación en las unidades de combate de la FAC, donde las condiciones ambientales son muy similares.

Las condiciones térmicas extremas a las cuales están expuestos los pilotos en la cabina de las aeronaves de combate pueden afectar el rendimiento y la tolerancia a exposición a las fuerzas de gravedad. La finalidad de este estudio, es investigar el ambiente térmico al cual se encuentran expuestos los pilotos de combate y así

---

<sup>5</sup> [En línea]. [citado en mayo 2012]. Disponible en Internet, en las páginas: <[www.zonaclima.com](http://www.zonaclima.com)> ; <[www.meteovista.com/north-america/united-states/las-vegas/](http://www.meteovista.com/north-america/united-states/las-vegas/)>

poder crear programas de prevención específicos sobre limitaciones ocupacionales e hidratación, así como crear protocolos específicos de rehidratación en los pilotos de combate. No existen estudios similares aplicados a nuestro medio en Colombia.

## **2. PROBLEMA**

### **2.1 FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son las condiciones ambientales cuantificables y medibles propicias para que se desarrolle estrés térmico en los pilotos del equipo KFIR, durante las operaciones de vuelo?

### **2.2 OBJETIVO GENERAL**

Determinar mediante mediciones objetivas las condiciones ambientales propicias para desarrollar estrés térmico en una población de pilotos del Equipo KFIR

### **2.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ❖ Determinar la presencia de deshidratación en los pilotos del equipo KFIR mediante la medición de parámetros fisiológicos (frecuencia cardiaca, densidad urinaria)
- ❖ Determinar el Índice de Estrés Térmico en Aviación de Combate (FITS) para los vuelos en diferentes horas del día en un periodo de tiempo
- ❖ Medir la temperatura y humedad relativa en las cabinas de aviones de combate a las cuales están expuestos las tripulaciones en diferentes vuelos.

## **3. DESARROLLO DE CONCEPTOS**

### **3.1. PRESENTACION ANTECEDENTES DE ESTRÉS TERMICO**

#### **3.1.1 Estrés térmico definición**

En salud ocupacional, el ambiente térmico es un conjunto de factores (temperatura, humedad, actividad del trabajo) que caracteriza los diferentes puestos de trabajo. La combinación de estos factores genera la adaptación de los individuos a los ambientes, o pueden por lo contrario, generar estrés térmico. La carga térmica en el individuo aparece al interactuar el medio ambiente, el vestuario, y la actividad física, lo cual produce un incremento de la temperatura corporal, en respuesta, el organismo efectúa una serie efectos de termorregulación para producir pérdida de calor, tales como: evaporación del sudor, la convección, la radiación. Esta respuesta puede no ser muy efectiva y producir discomfort (estrés térmico), perdida hídrica e inclusive llevar a patologías por calor que pueden ser graves (agotamiento por calor, calambres por calor) y amenazar la vida (por ejemplo el golpe de calor)<sup>6</sup>.

#### **3.1.2 Estrés térmico en aviación**

La aviación de combate expone al piloto a una serie de factores de estrés, dentro de cuales se encuentra el stress térmico, el cual se produce, por ejemplo, con la exposición a temperaturas elevadas antes del despegue (durante las fases de prevuelo, encendido, taxeo y en espera para el despegue) en un clima cálido. El sistema de aire acondicionado no es efectivo durante estas fases, lo que permite el calentamiento excesivo de la cabina.

---

<sup>6</sup> LIPPINCOTT, Williams, and Wilkins Thermal Stress. Fundamentals of Aerospace Medicine. Fourth Edition 2008. Chapter 7: 206 – 219. Philadelphia.



La carga térmica experimentada en la cabina es más severa que en la rampa debido a la disminución de la velocidad del aire, el uso del equipo de vuelo, e incremento de la carga de calor radiante.

Se ha llegado a determinar que la temperatura de bulbo seco en la cabina, tanto en aviones como en helicópteros, alcanza los 50 grados centígrados, cuando la temperatura ambiental es de 25 grados centígrados. La deshidratación aparece entonces, como resultado del incremento de la sudoración ocasionada por la exposición al calor, disminución del mecanismo de evaporación secundario al uso del overol y equipo de vuelo, y las actividades ejecutadas en la fase de pre vuelo. Puede existir además, un factor contribuyente adicional caracterizado por la supresión en la ingesta de líquidos con el fin de evitar la necesidad de orinar durante el vuelo en el individuo<sup>7</sup>.

En un estudio efectuado con 250 pilotos de la Fuerza de Defensa Aérea del Japón (JASDF), se demostró que la temperatura en vuelo supero los 30 grados centígrados y la temperatura en operaciones efectuadas en tierra alcanzo los 45 grados centígrados en verano. La pérdida de masa corporal en los pilotos de F-15 fue de 179.+-.25 g/m2 hora en el verano comparado con 80+-.4 g/m2 hora en invierno, basados en estos resultados se recomendó realizar investigaciones sobre la futura utilización de vestuario refrigerante para los pilotos de la fuerza<sup>8</sup>.

El estrés térmico afecta la tolerancia a las fuerzas G en la aviación de combate. La deshidratación inducida por hipertermia reduce la tolerancia a las gravedades de 0,5 a 1 G. En otro estudio se demostró que un 3% de deshidratación puede disminuir la tolerancia a las fuerzas G en aproximadamente un 40 %, determinado

---

<sup>7</sup> Ldr PALLAVI, S. Sharma. "Evaluation of pr take-off heat stress in a modern fighter cockpit: A field study". *Ind J. Aerospace Med* 51 (2), 2007.

<sup>8</sup> OZAKI H, SAKAGAMI J, KAI Y, NAGAYA T, OGAWA W (Southwestern Composite Air Division). Thermal Stress and Thermal Strain of JASDF Pilots and Cockpit Environment.

como la habilidad de soportar periodos repetidos de 15 segundos a +3.5 y 5 G con una temperatura corporal normal<sup>9</sup>.

## **3.2 MEDICIONES AMBIENTALES**

El riesgo de estrés térmico se efectúa midiendo los factores climáticos y físicos del ambiente y evaluando los efectos sobre el organismo, idealmente mediante un índice de estrés.

Para la cuantificación de las condiciones termohigrométricas, ampliamente se utiliza el índice WBGT recomendada por el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) para los límites de ambiente, utilizando unos parámetros del ambiente: temperatura del aire bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, velocidad del aire, calor radiante.

### **3.2.1. Fighter Index of Thermal Stress (FITS)**

Teniendo en cuenta el impacto que puede ocasionar el estrés térmico en las tripulaciones, la Fuerza Aérea de los EEUU partiendo de la revisión de diversos índices los cuales tenían como desventaja la falta de aplicación en el campo operacional, diseñó el Índice de Estrés Térmico en Pilotos de Combate – Fighter Index of Thermal Stress (FITS)<sup>10</sup>, el cual toma como punto de partida el Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) ampliamente conocido y validado mediante la Norma ISO 7243, y es aceptado como un

---

<sup>9</sup> BALLDIN UI, Sporrong A, Tesch PA. Rehydration and G tolerance, psychomotor performance and muscle function. Aerospace Medical Association Annual Scientific Meeting. Aviat. Space Environ. Med. 1984 ;55:467

<sup>10</sup> NUNNELEY SH, Stribley F (1979) FITS. Fighter Index of Thermal Stress: Development of Interim Guidance for Hot Weather Aircraft Operations. USAF School of Aerospace Medicine AFSC. Brooks AFB, Texas. 78235

índice estándar internacional utilizado como método simple de medición y control en ambientes calurosos<sup>11</sup>.

El FITS de forma práctica utiliza los valores de temperatura ambiental y humedad relativa para generar ecuaciones predictivas de condiciones ambientales con el WBGT, que pueden determinar índices en diferentes tablas de fácil lectura. Como resultado, se determina si los valores de FITS se encuentran en zonas como: NORMAL, PRECAUCION o PELIGRO, y son la base para estimar el riesgo fisiológico, y se dan recomendaciones de procedimientos de prevención para cada zona.

Para el presente estudio se tuvo en cuenta la Tabla No.4 del FITS: “en grados centígrados para sol directo”.

**Tabla 1** FITS: en grados centígrados bajo sol directo

TABLE 4. FITS (°C) FOR DIRECT SUN

Air temp (°C)	Zone	Relative humidity (%)							
		≤10	20	30	40	50	60	70	≥80
20.0		18.5	19.9	21.2	22.4	23.6	24.7	25.8	26.8
22.5		20.7	22.2	23.6	25.0	26.2	27.4	28.6	29.8
25.0		22.7	24.4	25.9	27.4	28.8	30.1	31.3	32.5
27.5	Normal	24.7	26.6	28.2	29.8	31.4	32.8	34.1	35.4
30.0		26.8	28.7	30.6	31.9	33.9	35.4	36.8	38.1
32.5		28.8	31.1	33.0	34.9	36.6	38.2	39.6	41.0
35.0		30.8	33.2	35.4	37.4	39.2	40.9	42.4	43.9
37.5		32.8	35.3	37.8	39.8	41.8	43.6	45.2	46.8
40.0	Caution	34.8	37.6	40.2	42.4	44.4	46.3	47.9	49.6
42.5		36.9	39.8	42.5	44.9	47.1	49.1	50.8	52.4
45.0		38.7	42.0	44.9	47.5	49.7	51.4	53.6	55.2
47.5	Danger	40.6	44.2	47.2	50.0	52.3	54.5	56.6	58.2
50.0		42.7	46.5	49.6	52.6	55.0	56.8	58.9	61.0

**Fuente:** Nunneley SH, Stribley FITS. Fighter Index of Thermal Stress: Development of Interim Guidance for Hot Weather Aircraft Operations. (1979) USAF school of Aerospace Medicine AFSC, Brooks AFB TX, 78235

<sup>11</sup> Norma ISO 7342 Índice de Temperatura Global de Bulbo Húmedo: WET BULB GLOBE TEMPERATURE INDEX (WBGT)

### 3.2.2. Temperatura y humedad relativa

De acuerdo con las recomendaciones para conseguir un ambiente térmico adecuado para los trabajadores, se determina los siguientes valores:

**Tabla 2** TLV Temperatura y Humedad Relativa

FACTOR	INVIERNO	VERANO
TEMPERATURA	19-21	20-24
HUMEDAD RELATIVA	40-60 %	40-60%
VELOCIDAD AIRE	0,15	0,25

**Fuente:** NTP 242 Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. OSHA Occupational Safety and Health Administration U.S department of Labor. 1998. Disponible en <http://www.osha.gov>

## 3.3 MEDICIONES FISIOLÓGICAS

### 3.3.1. Marcadores de deshidratación

Se han investigado diversos índices para establecer marcadores de estado de hidratación, los más importantes son: medición de cambios de masa corporal, índices en sangre, índices en orina y impenciometría bioeléctrica. La evidencia actual y la tendencia de opinión favorece los índices en orina, en particular la osmolalidad urinaria como el marcador más importante de deshidratación<sup>12</sup>.

#### 3.3.1.1 Densidad urinaria

La densidad urinaria compara el peso de la orina con el del agua, lo cual provee un índice para concentración de solutos. El peso del agua es considerada en el rango de 1000. Un cambio en la densidad urinaria de 1010 a 1020 indica un incremento de 400 mOsm/kg H<sub>2</sub>O. En el estado de depleción de sodio, los riñones

<sup>12</sup> SHIRREFFS SM. "Markers of hydration status". European Journal of Clinical Nutrition (2003) 57, Suppl 2, S6–S9 12.

usualmente tratan de conservar sodio, la densidad urinaria es normal y la concentración de sodio urinario y cloro es baja.

El análisis simple de una muestra de orina ha sido ampliamente usado como un marcador del estado de hidratación. En estudios de restricción hídrica, la osmolalidad urinaria se ha incrementado a valores tan altos 900 mosm/kg. Para la primera orina del día en individuos deshidratados alrededor de un 1,9 % de pérdida de peso corporal.

La densidad generalmente se obtiene mediante las tiras reactivas e indica la cantidad relativa de solutos que contiene un volumen definido de orina. El 70% a 80% de estos solutos corresponde a la urea<sup>13</sup>.

### **3.3.1.2 Medición de frecuencia cardiaca en estrés térmico**

El estrés generado por altas temperaturas, asociado a la deshidratación e hipertermia, produce efectos en la respuesta cardiovascular durante la actividad física del individuo expuesto a calor<sup>14</sup>. Estos efectos fisiológicos son equivalentes a los hallazgos descritos en investigaciones de estrés térmico en aviación tanto de combate como en vuelo de helicópteros a bajo nivel<sup>15</sup>.

En el ambiente laboral, se ha determinado que una de las manifestaciones de estrés térmico en los trabajadores expuestos a calor es la variabilidad cardiaca. Se ha demostrado que por cada grado centígrado de incremento de la temperatura interna, la frecuencia cardiaca aumenta aproximadamente 10

---

<sup>13</sup> WEISTEIN, G. et al.. Importance of Fluid Replenishment during Physical Activity and Exercise. Ohalo and Tel-Hai Academic Colleges, Israel, Tel-Hai and J&S Academic Colleges, Israel and The Ribstein Center for Research and Sports Medicine, Wingate Institute, Israel

<sup>14</sup> GONZALEZ-ALONSO J, et al. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise J Appl Physiol 82:1229-1236, 1997

<sup>15</sup> Ldr PALLAVI, Op. Cit.

pulsaciones por minuto, hasta >41 grados la temperatura disminuye al decaer la eficiencia cardiaca

Por otra parte, la ACGIH del 2009, recomienda dentro los TLV que la frecuencia cardiaca no debe sobrepasar de 180 pulsos/min menos la edad del trabajador expuesto a calor, como pulso sostenido por varios minutos<sup>16</sup>.

### 3.4 METODOLOGIA

#### 3.4.1. Población a estudio

La población de estudio la constituye once (11) pilotos operacionales del equipo K-FIR que realizaron entrenamiento para participar en el ejercicio operacional RED FLAG

#### 3.4.2. Diseño metodológico

Estudio observacional, descriptivo de corte transversal

#### 3.4.3. Variables del estudio

##### a. VARIABLES DE IDENTIFICACION

VARIABLE	TIPO	CATEGORIA
1. EDAD (en años)	Cuantitativa Continua	
2. PESO (en kilos)	Cuantitativa Continua	Categórica
3. TALLA (en cms)	Cuantitativa Continua	Categórica
4. I.M.C	Ordinal	Normal Sobrepeso Obesidad Grado I, II, III

#### 3.4.4. Materiales y métodos.

Estudio descriptivo transversal, realizado en el año 2012 durante los meses de marzo a julio, con un total de 11 pilotos que aceptaron participar en la investigación. Se realizó monitoreo cardiaco durante diferentes vuelos. Durante

<sup>16</sup> American Conference of Industrial Hygienist (ACGIH) [en línea][citado en junio 2012] disponible en Internet <[www.acgih.org/home.htm](http://www.acgih.org/home.htm)>

los mismos se registró la temperatura y humedad relativa de la cabina de avión K-FIR. Así mismo, se determinó en Índice de Stress Térmico FITS del ambiente con información suministrada por la estación meteorológica local de la Base Aérea CACOM-3 Malambo, Atlántico y la Base Aérea de CACOM-1 Puerto Salgar, Cundinamarca.

#### **3.4.5. Medición de condiciones de la cabina para estrés térmico.**

Se utilizó un termo higrómetro digital portátil de marca EXTECH 445580 el cual se instaló con un soporte adaptado en la cabina de las aeronaves KFIR. Se realizó el monitoreo sincronizado y registro simultáneo de Temperatura (en grados Centígrados) y Humedad Relativa (Porcentaje) durante todos los segmentos del vuelo en diferentes vuelos. Los datos fueron descargados de este equipo al software provisto por el fabricante y se pasaron a una tabla de Excel

#### **3.4.6. Medición de la respuesta fisiológica de exposición a calor o estrés térmico en los pilotos.**

Se tuvo en cuenta el monitoreo de la frecuencia cardiaca durante los vuelos. De acuerdo a la recomendación de la American Conference of Governmental Hygienist ACGIH -2009, la frecuencia cardiaca no debe sobrepasar de 180 pulsos/min menos la edad del trabajador expuesto al calor. Para ello se utilizó un monitor de frecuencia cardiaca tipo Polar RS800CX.

#### **3.4.7. Medición de Índice de Estrés Térmico en pilotos de combate (Fighter Index of Thermal Stress FITS).**

Se tuvo en cuenta la temperatura ambiental de bulbo seco y la humedad relativa ambiental en la estación. Estos datos que fueron suministrados por la estación meteorológica del CACOM-3 y el CACOM-1. La información se cruzo en las tablas establecidas por la Fuerza Aérea de los EEUU para este índice denominado Fighter Index of Thermal Stress.

### 3.4.8. Evaluación de deshidratación.

Se realizó el análisis de la muestra de orina recolectada en la fase de alistamiento (prevuelo) y en una segunda muestra recolectada de cada individuo en el periodo inmediato post-vuelo. Se determinó la densidad urinaria pre y post vuelo de dos vuelos diferentes con una duración de 4:18 horas y 4:22 horas respectivamente en 8 y 5 pilotos en cada uno de los vuelos. Se utilizaron tirillas reactivas para uro análisis de marca COMBUR TEST de Roche ®. Se consideró los siguientes parámetros de densidad urinaria para medir la deshidratación<sup>17</sup>.

**Tabla 3** Parámetros de Densidad Urinaria

<b>Bien hidratado</b>	<b>menor 1.010</b>
<b>Deshidratación Leve</b>	<b>1.010 – 1.020</b>
<b>Deshidratación Significativa</b>	<b>1.021 – 1.030</b>
<b>Deshidratación Severa</b>	<b>&gt; 1.030</b>

Fuente: Douglas J. Casa, Lawrence E. Armstrong, Scott J. Montain, Ralph V. Reiff, Brent S.E. Rich,; William O. Roberts, Jennifer A. Stone. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes. Journal of Athletic Training, 2000; 35 (2): 212-224

### 3.4.9. Tipo de recolección de datos y análisis estadístico

Se generó una base de datos en Microsoft Office Excel 2003 con las diferentes variables analizadas, previo control de calidad de la información. Se aplicó en primer lugar estadística descriptiva, calculando prevalencias con su intervalo de confianza al 95% (IC95).

---

<sup>17</sup> DOUGLAS J. Casa, et al. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes. Journal of Athletic Training, 2000; 35 (2): 212-224.



#### 4. ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

Una vez recolectados los datos y luego de haberlos tabulado, se procedió a realizar el análisis. Es de mencionar que las variables: datos demográficos de la población estudiada, medición de densidad urinaria y los obtenidos del Índice FITS, son descriptivos y no se correlacionaron con otras variables del estudio.

Para el análisis estadístico de tipo paramétrico, en donde se determinó: media, moda, valor mínimo y máximo, se utilizaron las siguientes variables:

- Temperatura en cabina
- Humedad relativa en cabina
- Frecuencia cardiaca en vuelo

La población estudiada fue compuesta por 11 pilotos del equipo K-FIR de sexo masculino, sanos, con certificado de aptitud psicofísica vigente para actividades de vuelo según evaluación del Centro de Medicina Aeroespacial. Las características demográficas se muestran en la Tabla 1:

Tabla 4 . Datos Demográficos

VARIABLE	MEDIA
Edad (años)	33,7
Peso (kg)	77,27
Talla (cms)	176,62
I.M.C (kg/cm <sup>2</sup> )	25,51

En promedio se calculó un IMC de 25,51 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose esta población en sobrepeso grado I, de acuerdo con el límite del Índice de Masa Corporal (mayor a 24,9 kg/cm<sup>2</sup>) de la O.M.S.

## **Incidencia de Deshidratación**

Con el fin de descartar cualquier tipo de enfermedad que ocasione incapacidad para el vuelo o detectar pérdidas hídricas previas a la toma de la muestra de orina para el análisis de densidad urinaria, se efectuó una valoración médica por médica aeroespacial, consistente en:

- **Interrogatorio sobre síntomas o signos de enfermedad en las últimas 24 horas previas al vuelo**
- **Número de horas de sueño obtenidas en la noche anterior**
- **Toma de tensión arterial, frecuencia cardiaca y pulso oximetría**
- **Chequeo de oídos y permeabilidad de senos paranasales**

Se realizó la medición cuantitativa la densidad urinaria pre y post vuelo y se determinó que hay una elevada incidencia de deshidratación en todos los pilotos. Adicionalmente, se evidenció en las mediciones PRE-VUELO ninguno de los individuos se encontraba en el parámetro de eu-hidratación o “bien hidratado”, que corresponde a una densidad urinaria menor a 1.010. Los resultados se muestran en las **tablas 2 y 3:**

**Tabla 5** Densidad Urinaria y Clasificación de la Deshidratación (día 1 Desplazamiento Operativo ejercicio FIGHTER DRAG)

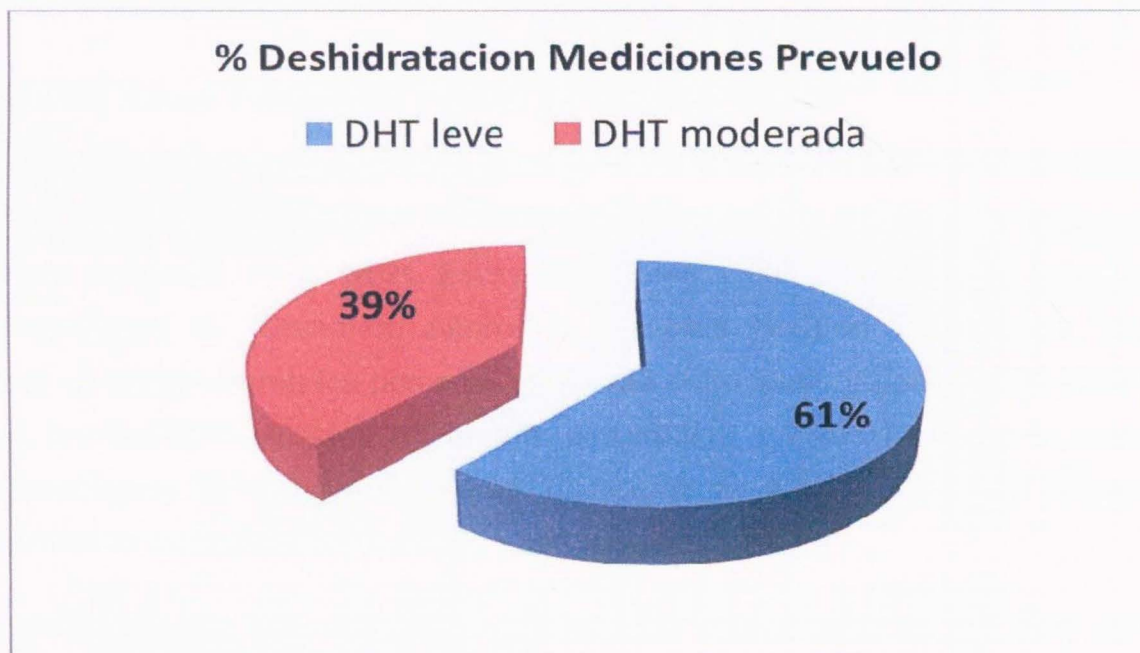
<b>NOMBRE</b>	<b>DENSIDAD URINARIA PRE VUELO</b>	<b>CLASIFICACION</b>	<b>DENSIDAD URINARIA POST VUELO</b>	<b>CLASIFICACION</b>
PILOTO 1	1.010	LEVE	1.020	<b>LEVE</b>
PILOTO 2	1.025	MODERADA	1.015	<b>LEVE</b>
PILOTO 3	1.015	LEVE	1.020	<b>LEVE</b>
PILOTO 4	1.015	LEVE	1.025	<b>MODERADA</b>
PILOTO 5	1.020	LEVE	+ 1.030	<b>SEVERA</b>
PILOTO 6	1.010	LEVE	1.015	<b>LEVE</b>
PILOTO 7	1.015	LEVE	NO SE TOMO	- (*)
PILOTO 8	1.025	MODERADA	1.025	<b>MODERADA</b>

(\*) Piloto No. 7 no completó el vuelo por falla técnica de la aeronave

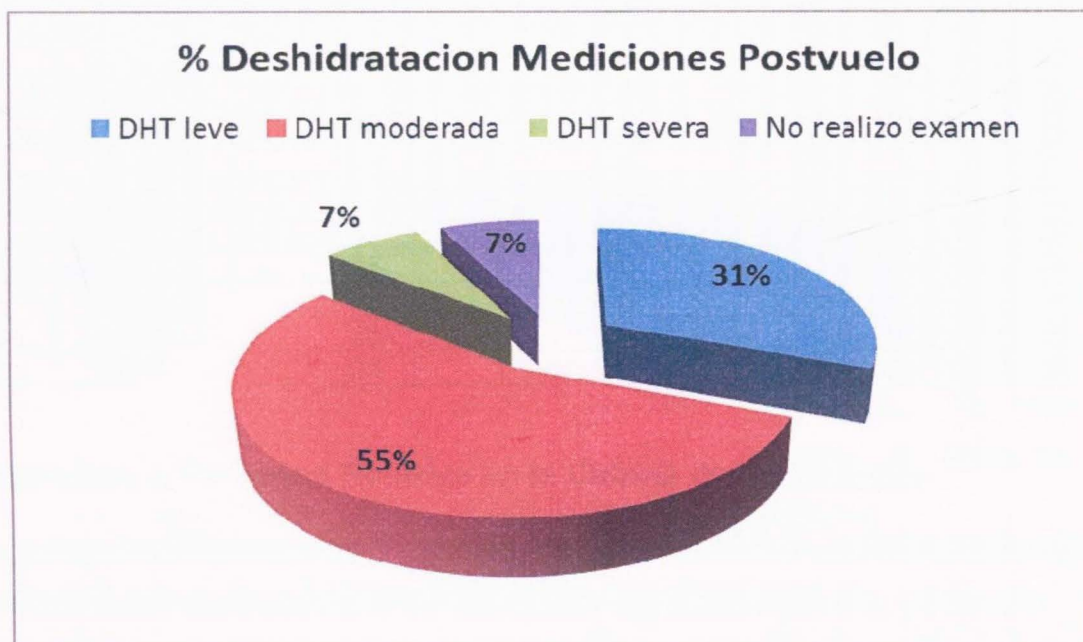
**Tabla 6 Densidad Urinaria y Clasificación de la Deshidratación (día 2 Desplazamiento Operativo ejercicio FIGHTER DRAG)**

NOMBRE	DENSIDAD URINARIA PRE VUELO	CLASIFICACION	DENSIDAD URINARIA POST VUELO	CLASIFICACION
PILOTO 9	1.010	LEVE	1.025	<b>MODERADA</b>
PILOTO 6	1.030	MODERADA	1.025	<b>MODERADA</b>
PILOTO 8	1.020	LEVE	1.030	<b>MODERADA</b>
PILOTO 10	1.025	MODERADA	1.025	<b>MODERADA</b>
PILOTO 7	1.025	MODERADA	1.025	<b>MODERADA</b>

**Figura 1** Porcentaje de Deshidratación PRE-VUELO



**Figura 2** Porcentaje Deshidratación POST-VUELO



### Índice de Estrés Térmico en Pilotos de Combate F.I.T.S

La determinación cualitativa del Índice de Estrés Térmico en Pilotos de Combate (FITS), se realiza mediante la relación de la temperatura ambiental y la humedad relativa ambiental en la tabla. Estos datos fueron suministrados por la estación meteorológica del Comando Aéreo de Combate No.3.en Barranquilla, ciudad donde se desarrollaron los primeros vuelos de entrenamiento para el ejercicio Red Flag, los vuelos realizados allí fueron: el 15/03/12 y 23/03/12; y por la estación meteorológica del Comando Aéreo de Combate No.1 en Puerto Salgar, la información correspondiente al resto de los vuelos.

Se evidenció que las condiciones ambientales prevalentes en los días que se desarrollaron los vuelos, fueron propicios para desarrollar estrés térmico en los individuos y en su mayoría fueron catalogados en “zona de precaución”

**Tabla 7** Índice de Estrés Térmico en pilotos de Combate (Fighter Index of Thermal Stress FITS)

VUELO	FECHA	TEMPERATURA AMB (C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	FITS	ZONA

1	15/03/12	28	80	35.4	CAUTION
2	23/03/12	28	70	36.1	CAUTION
3	23/03/12	30	70	36.8	CAUTION
4	11/05/12	30	60	35.4	CAUTION
5	16/05/12	30	55	33.9	CAUTION
6	17/05/12	30	70	36.8	CAUTION
7	25/05/12	31	70	36.8	CAUTION
8	12/06/12	28	60	35.4	CAUTION
9	13/06/12	29	60	35.4	CAUTION
10	18/06/12	29	70	36.8	CAUTION
11	19/06/12	34	80	43.9	DANGER

### **Temperatura y Humedad Relativa en la Cabina de los aviones**

El registro simultáneo en los 11 vuelos, de la temperatura y la humedad relativa en la cabina de las aeronaves K-FIR mostró los siguientes valores promedio:

Temperatura MAXIMA PROM: 39.0 grados y MINIMA PROM: 22.6 grados

Humedad relativa MAXIMA PROM: 74.2% y MINIMA PROM: 8%.

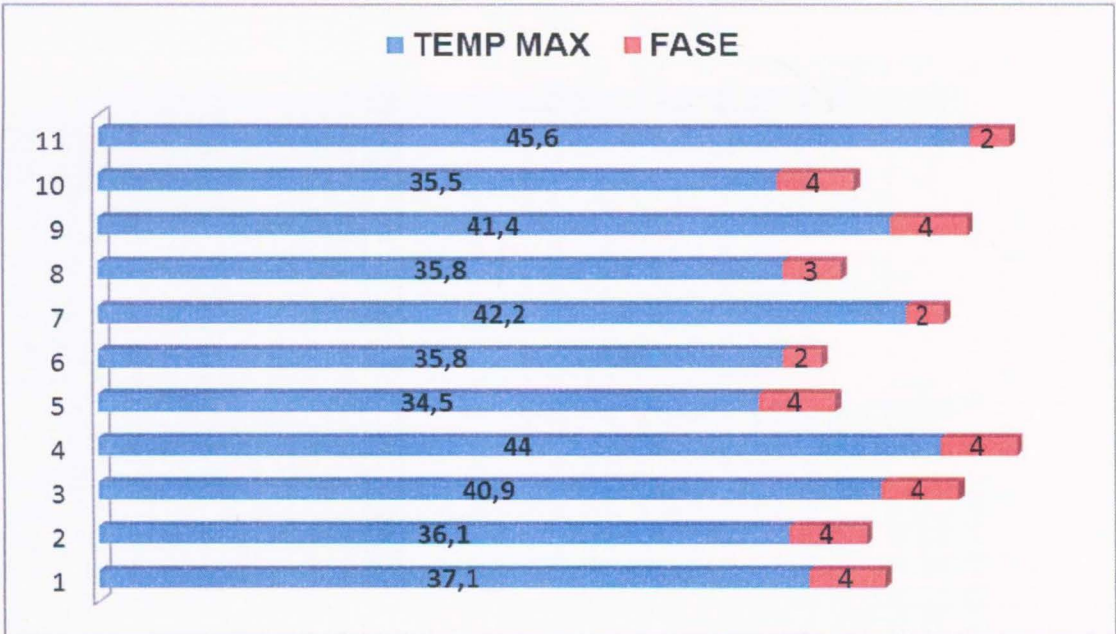
Para efectos de determinar con mayor precisión en qué momento de vuelo se presentan los máximos y mínimos de cada una de las variables, se establecieron 5 fases o periodos de vuelo, así:

1. Periodo PA Prevuelo-Amarrada
2. Periodo AD Antes de Despegar (Prendida hasta el Despegue)
3. Periodo de Vuelo (Despegue hasta el Aterrizaje)
4. Periodo DA Después de Aterrizaje (Aterrizaje hasta la Apagada)
5. Periodo Apagada hasta Reposo

Es importante mencionar que la duración de todos los periodos de vuelo en promedio fue de: 50 minutos, contando desde el tiempo de pre-vuelo hasta el periodo de apagada y reposo.

Se observó que los **valores mínimos de temperatura dentro de la cabina** fueron detectados en el Periodo de Vuelo (despegue hasta el aterrizaje), con una temperatura registrada en promedio de 23Grados Centígrados tiempo que coincide con el inicio de la presurización de la cabina. El tipo de presurización y climatización de la cabina del avión K-FIR es ISOBARICO-DIFERENCIAL, con la cual caen tanto la Humedad Relativa y la Temperatura, manteniéndose estables hasta finalizar el vuelo, que empiezan a subir de manera proporcional a la perdida de presurización y climatización equivalente a GROUND LEVEL. Así mismo, los **valores máximos de Temperatura y Humedad Relativa** se midieron en el periodo DA Después de Aterrizar (Aterrizaje hasta la Apagada)

Tabla 8 Temperatura máxima vs fase



FASES DE VUELO ANALIZADAS:

1. Periodo PA Prevuelo-Amarrada
2. Periodo AD Antes de Despegar (Prendida hasta el Despegue)
3. Periodo de Vuelo (Despegue hasta el Aterrizaje)
4. Periodo DA Después de Aterrizar (Aterrizaje hasta la Apagada)
5. Periodo Apagada hasta Reposo

Tabla 9 Temperaturas Mínimas y Máximas – HR Máximas y Mínimas de cada vuelo.

No	TEMPERATURA CABINA				HUMEDAD RELATIVA				FRECUENCIA CARDIACA			
	Valor Min	FASE	Valor Max	FASE	Valor Min	FASE	Valor Max	FASE	Valor Min	FASE	Valor Max	FASE
VUELO 1	11.7	Vuelo	37.6	Tierra DA	4.3	Vuelo	68.2	Tierra PA	77	Tierra AD	125	Tierra DA
VUELO 2	23.5	Vuelo	36.1	Tierra DA	0	Vuelo	79	Tierra PA	87	Tierra AD	128	Vuelo
VUELO 3	22.9	Vuelo	40.9	Tierra DA	5.5	Vuelo	76.1	Tierra PA	56	Tierra AD	112	Vuelo
VUELO 4	30.6	Vuelo	44	Tierra DA	9.4	Vuelo	67.5	Tierra AD	87	Tierra AD	134	Vuelo
VUELO 5	25.5	Vuelo	34.5	Tierra DA	18.3	Vuelo	78.6	Tierra AD	69	Tierra AD	116	Vuelo
VUELO 6	19.2	Vuelo	35.8	Tierra AD	7.1	Vuelo	85.5	Tierra DA	73	Tierra AD	109	Tierra DA
VUELO 7	24.4	Vuelo	42.2	Tierra AD	5.8	Vuelo	80.8	Tierra AD	65	Tierra AD	105	Vuelo
VUELO 8	20.8	Vuelo	35.8	Vuelo AA	5.2	Vuelo	63.5	Tierra AD	80	Tierra AD	161	Vuelo
VUELO 9	12.8	Vuelo	41.4	Tierra DA	0	Vuelo	72.6	Tierra AD	71	Tierra AD	118	Tierra AD
VUELO 10	28.3	Vuelo	35.5	Tierra DA	23.6	Vuelo	85.7	Tierra DA	72	Tierra AD	149	Tierra DA
VUELO 11	29.2	Vuelo	45.6	Tierra AD	8.8	Vuelo	58.8	Tierra DA	94	Tierra DA	138	Tierra AD
Promedio	22.6	Vuelo	39.0	Tierra DA	8.0	Vuelo	74.2	Tierra AD	75.5	Tierra AD	126.8	Vuelo

Figura 3 Temperaturas Máxima y Mínima registradas en cada vuelo

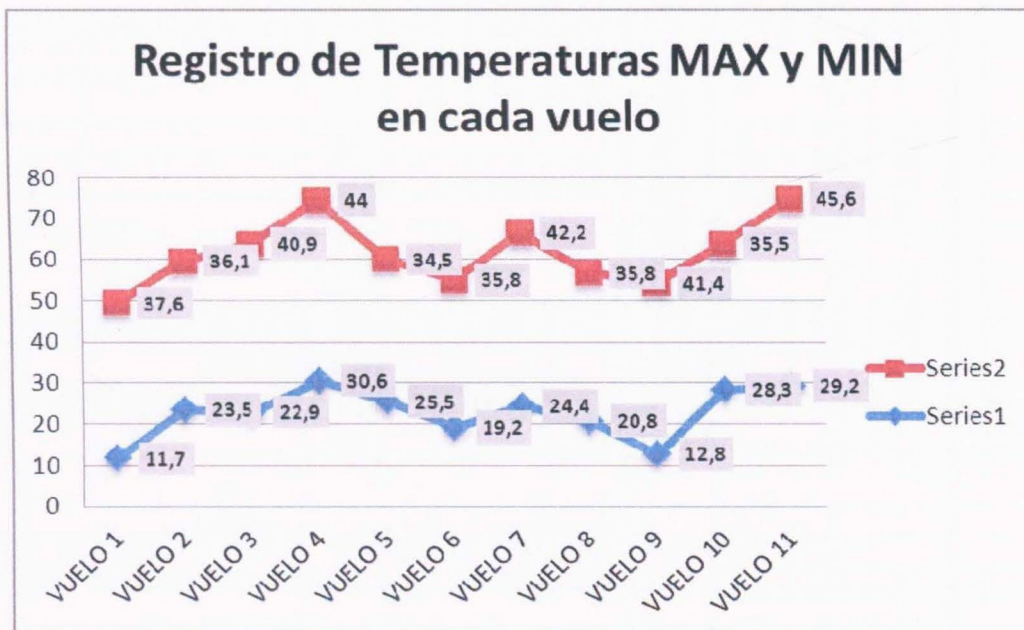
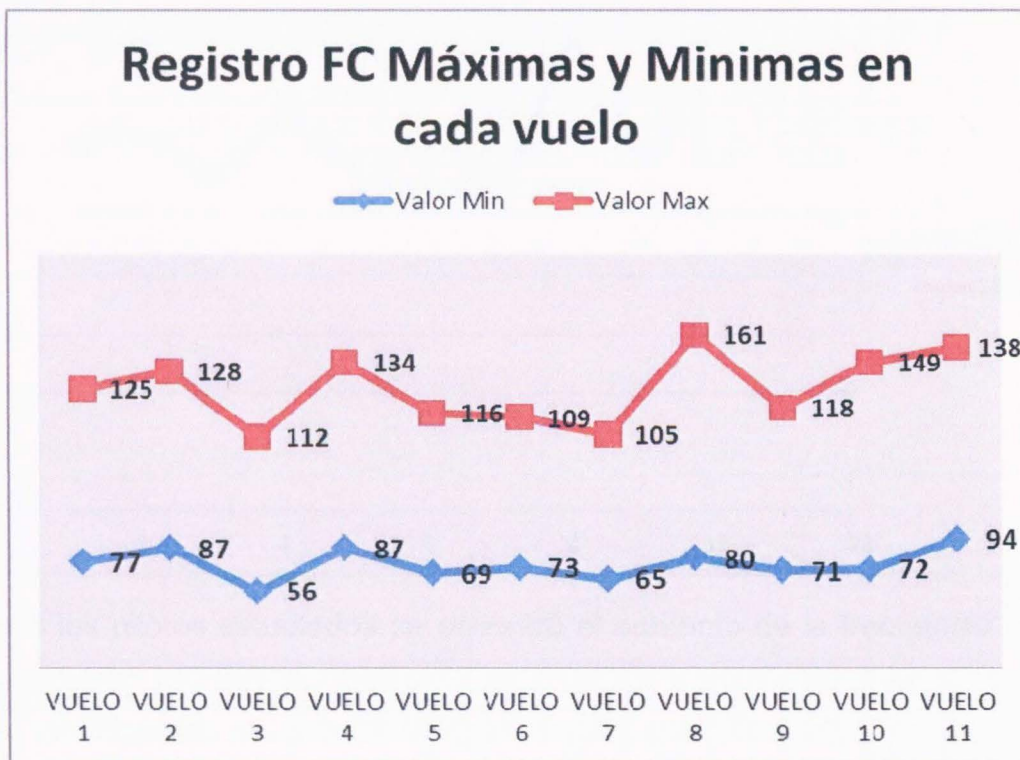


Figura 4 Frecuencia Cardíaca Máxima y Mínima registrada en cada vuelo

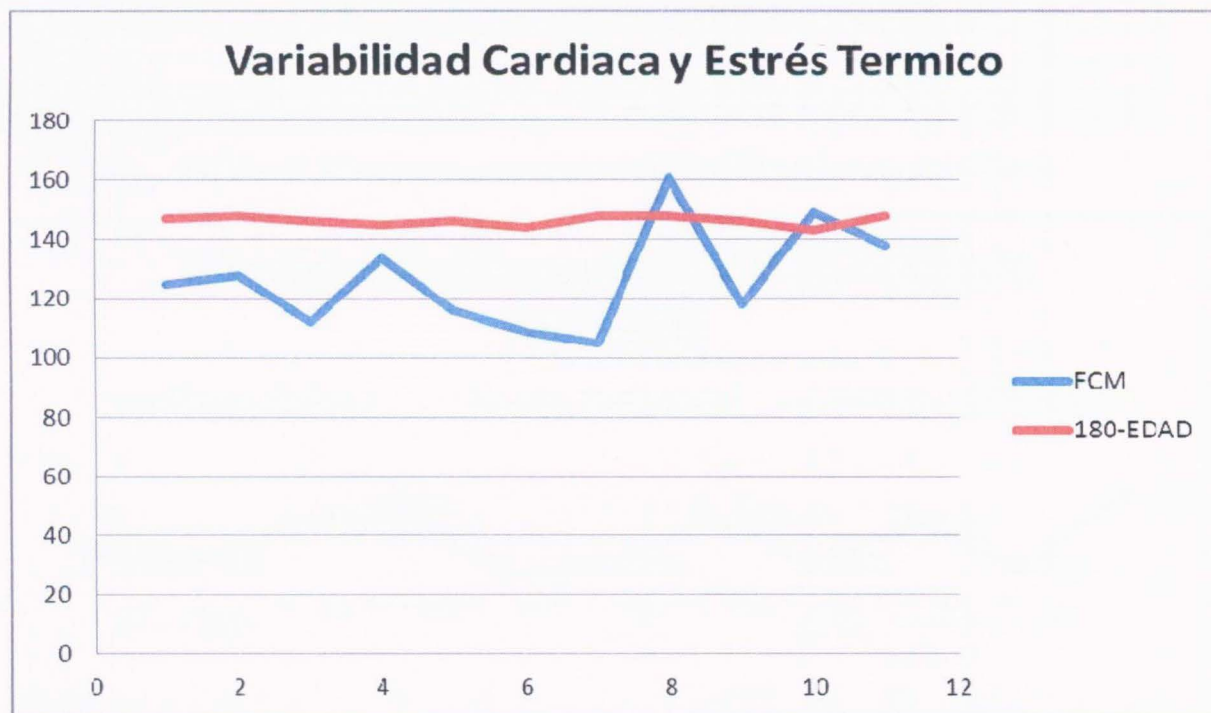




**Tabla 10** Variabilidad Cardíaca y TLV Exposición a Calor

Piloto	Frecuencia Cardíaca Máxima	180 - edad
1	125	180-33 = 147
2	128	180-32 = 148
3	112	180-34 = 146
4	134	180-35 = 145
5	116	180-34 = 146
6	109	180-36 = 144
7	105	180-32 = 148
8	161	180-32 = 148
9	118	180-34 = 146
10	149	180-37 = 143
11	138	180-32 = 148

**Figura 5** Frecuencia cardíaca y TLV exposición al calor



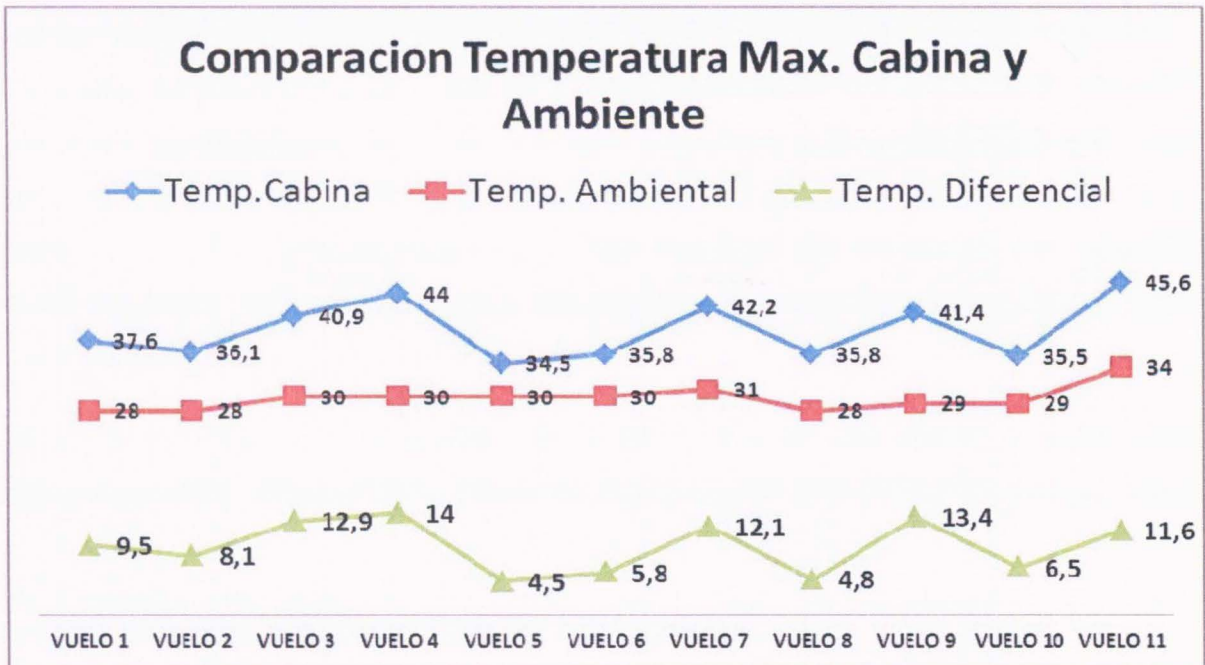
En todos los pilotos estudiados se encontró el aumento de la frecuencia cardíaca por encima de 100 latidos por minuto en todos los vuelos; solamente en dos sujetos se encontró un incremento por encima del umbral recomendado por la

ACGIH de TLV's que indica que la frecuencia cardiaca no debe sobrepasar de 180 pulsos/min menos la edad del trabajador expuesto a calor, como pulso sostenido por varios minutos.

**Tabla 11** temperaturas máximas en cabina, temperatura ambiente y temperatura diferencial en grados centígrados con respecto al ambiente

VUELO	TEMPERATURA MAX. CABINA (grados C)	TEMPERATURA AMBIENTAL (grados C)	TEMP. DIFERENCIAL (grados C)
VUELO 1	37,6	28	9,5
VUELO 2	36,1	28	8,1
VUELO 3	40,9	30	12,9
VUELO 4	44	30	14
VUELO 5	34,5	30	4,5
VUELO 6	35,8	30	5,8
VUELO 7	42,2	31	12,1
VUELO 8	35,8	28	4,8
VUELO 9	41,4	29	13,4
VUELO 10	35,5	29	6,5
VUELO 11	45,6	34	11,6
	<b>X= 39,0</b>	<b>X= 29,7</b>	<b>9,3</b>

**Figura 6** Diferencial temperatura en cabina vs temperatura ambiental



Al comparar las temperaturas máximas obtenidas en el registro dentro de la cabina con las temperaturas ambientales suministradas por la estación meteorológica, se observó que existe una importante elevación de la temperatura dentro de la cabina (en promedio 9,3 grados) que en el ambiente. Esto supone que las temperaturas que experimentan los pilotos dentro de la cabina son mayores que las del medio ambiente de forma significativa.

## 5. DISCUSION

Este es uno de los primeros estudios que exploran factores personales y ambientales asociados a estrés térmico en los pilotos de aviones de combate en Colombia.

Se encontró una importante elevación de la temperatura registrada dentro de la cabina de los aviones K-FIR (en promedio 9,3 grados) con respecto al ambiente. Esto supone que las temperaturas que experimentan los pilotos dentro de la cabina son mayores que las del medio ambiente, hallazgo similar a lo descrito en otros estudios internacionales en aviación; por ejemplo, se llegó a determinar que la temperatura de bulbo seco en la cabina, tanto en aviones como en helicópteros, alcanza los 50 grados centígrados, cuando la temperatura ambiental es de 25 grados centígrados<sup>18</sup>. Así mismo, se registraron altas temperaturas en cabina, similar a los datos obtenidos en otros estudios, uno de ellos realizado con 250 pilotos de la Fuerza de Defensa Aérea del Japón (JASDF), se demostró que la temperatura en vuelo superó los 30 grados centígrados y la temperatura en operaciones efectuadas en tierra alcanzo los 45 grados centígrados en verano<sup>19 20</sup>. Similar a los hallazgos descritos con ocho pilotos en la Base Edwards AFB, donde se registro una temperatura en cabina en aviones F-15, de 35.2 grados a la sombra y de 51.9 grados bajo el sol. Otra investigación efectuada con aeronaves A-10 de Nellis AFB, encontró una elevación de temperatura sobre los 40 grados centígrados.

El stress térmico que se genera en aviación por la exposición a temperaturas elevadas antes del despegue (durante las fases de prevuelo, encendido, taxeo y

---

<sup>18</sup> Ldr Pallavi, S et al. Op cit.

<sup>19</sup> OZAKI H, SAKAGAMI J, KAI Y, NAGAYA T, OGAWA W Op Cit

<sup>20</sup> FLIGHT SAFETY FOUNDATION. Aviation Medicine: Dehydration presents unique risks for pilots.. Vol 48 No. 4 July- August 2001.

en espera para el despegue) en un clima cálido según lo describe la literatura (18) se evidenció en los resultados que fueron muy similares en el presente estudio, donde se pudo apreciar que las etapas del vuelo donde mayor temperatura y humedad relativa experimentan los pilotos fue en el PERIODO ANTES DEL DESPEGUE (que incluye Prevuelo, amarrada, encendido, taxeo y espera para el despegue) con una temperatura máxima registrada de 45,6 grados en uno de los vuelos<sup>21</sup>.

Aunque existen diversos índices para valorar estrés térmico en el ámbito ocupacional de acuerdo con la revisión bibliográfica<sup>22</sup> se decidió emplear las tablas del FITS que traduce Índice de Estrés Térmico en Pilotos de Combate, método que es empleado en las Unidades de la Fuerza Aérea de los EEUU como medida de estimación de riesgo ambiental teniendo en cuenta la temperatura y humedad relativa, lo cual permite establecer la zona de riesgo. Por lo cual se recomienda sea aplicado y difundido en las unidades de la FAC.

---

<sup>21</sup> Ibid.

<sup>22</sup> Ibid.

## CONCLUSIONES

- La presencia de factores tanto en el ambiente local como en la cabina de los aviones K-FIR, que pueden generar estrés térmico en la población estudiada es importante, así como también, la alta incidencia de deshidratación. El estrés térmico se debe considerar como un factor de interés fisiológico, ya que potencialmente podría llegar a afectar el adecuado desempeño físico y cognitivo de los pilotos.
- Se encontraron los siguientes factores cuantificables en el ambiente, en cabina y en los individuos, que pueden generar estrés térmico en la población estudiada:
  - ❖ Alta incidencia de deshidratación en los pilotos antes de vuelo (61% deshidratación leve) y después de vuelo (55% deshidratación moderada)
  - ❖ Ningún vuelo estudiado se encontraba en condiciones ambientales dentro del parámetro NORMAL del FITS Índice de Estrés Térmico en Pilotos de Combate.
  - ❖ Las condiciones de cabina en todos los vuelos se encontraron los valores de Temperatura (39 grados) y humedad relativa (74,2%) que sobrepasaron los TLV establecidos en salud ocupacional
  - ❖ Es relevante el hallazgo de que la temperatura registrada dentro de la cabina es mayor que en el ambiente, en promedio 9,3 grados por encima de la ambiental.

- Los periodos de vuelo donde se registraron los valores más altos de temperatura y humedad relativa fueron: PERIODO ANTES DE DESPEGUE (45,6C) y PERIODO ANTES DE ATERRIZAR.
  - ❖ Este resultado sirve como soporte científico para poder sugerir el cambio del procedimiento de la prendida y taxeo con carlinga abierta
    - \* Una inquietud manifestada por los pilotos del equipo K-FIR era la de tener la posibilidad de efectuar el procedimiento de la prendida hasta el despegue con la carlinga abierta, teniendo que este procedimiento se realiza con la carlinga cerrada y esto genera sensación térmica elevada.\* (PERIODO ANTES DE DESPEGUE)
  - ❖ La causa de la elevación de la temperatura en cabina durante el periodo DA, debe ser determinada, pero se sugiere buscar como causa la perdida de presurización de la aeronave durante el descenso y el aterrizaje combinado con una falla en el sistema del aire acondicionado)
- Se encontró en el monitoreo cardiaco que dos pilotos sobrepasaron el valor TLV sugerido por la ACGIH'09 de Frecuencia Cardiaca Máxima en trabajadores expuestos a calor

## RECOMENDACIONES

- Se debe mantener los programas de acondicionamiento físico en el personal de pilotos de KFIR, con el fin de mejorar la respuesta cardiovascular. Así mismo, este personal debería mantenerse con un índice de masa corporal dentro de límites normales.
- Implementar a nivel estratégico direccional de la Institución, políticas de prevención al incentivar una cultura de adecuada hidratación. Así mismo se debe contar en las unidades con acceso a fuentes de hidratación.
- Considerar el impulso al desarrollo de tecnología en el diseño de trajes térmicos para los pilotos y sistemas de refrigeración compatibles con la aviónica del equipo, por lo cual se abre una línea de investigación en esta área.
- El haber efectuado esta primera aproximación al problema, permite obtener información crucial como base para la creación y el desarrollo de estudios adicionales complementarios que determinen el impacto del estrés térmico en los pilotos, que incluyan variables: pruebas psicométricas, medición de otras variables fisiológicas. Estudiar la posibilidad de adquirir equipos especializados para monitoreo de estrés térmico (medidor de WBGT).
- Ampliar el estudio para determinar el impacto en otros equipos de combate de la FAC, así mismo, extender este estudio en el personal al de mantenimiento aeronáutico y línea de vuelo, quienes también tienen este riesgo ocupacional.
- Difundir los resultados de esta investigación y la línea de investigación derivadas del conocimiento de este problema a la jefatura de Seguridad Aérea y Operacional.



- Se propone realizar la medición de la temperatura y humedad relativa cambiando el procedimiento al de carlinga abierta, con el fin de verificar el impacto de esta medida y compararlo con los presentes hallazgos.
- Estudiar la factibilidad de Proponer que se incorpore dentro de la tarjeta de riesgo operacional el FITS fighter index of termal stress.

## BIBLIOGRAFIA

- AMSTRONG LE, et al. Urinary Indices of hydration status. *Int. J. Sport Nutr.* (4), 265-279. 1994
- BALDIN UI et al. Rehydration and G tolerance, psychomotor performance and muscle function. *Aerospace Medical Association Annual Scientific Meeting. Aviat. Space Environ. Med.* 1984 ;55:467:
- DELIGNIERES D, et al. IX th European Congress on Sport Psychology. Bruxelles, 1995 (FEPSAC) Effects of Heat Stress and time on task on reaction time. University of Montpellier
- DOUGLAS J. Casa, et al. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes. *Journal of Athletic Training*, 2000; 35 (2): 212-224
- EPSTEIN Yoram, MORAN S (2006) Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. Review Article. *Industrial Health* 2006, 44, 388-398.
- FLIGHT SAFETY FOUNDATION. *Aviation Medicine: Dehydration presents unique risks for pilots..* Vol 48 No. 4 July- August 2001
- GONZALEZ, Alonso J, et al. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise *J Appl Physiol* 82:1229-1236, 1997
- JAIN PK et al. Heat stress in fighter-upgrade aircraft. *Ind J Aerospace Med* 46(1), 2002

NUNNELEY SH, Stribley F (1979) FITS. Fighter Index of Thermal Stress: Development of Interim Guidance for Hot Weather Aircraft Operations. USAF School of Aerospace Medicine AFSC. Brooks AFB, Texas. 78235

\_\_\_\_\_, SA. Et al. Physiological effects of solar heat load in a fighter cockpit. Aviat Space Environ Med. 1976 sep; vol.47 (9) pp. 967-73

\_\_\_\_\_, Et al. Heat Stress in the A-10 cockpit: flights over desert. Aviat Space Environ Med. 1981. Sep; 52 (9): 513-6

\_\_\_\_\_, et al. Physiological effects of solar heat load in fighter cockpit. Aviat Space Environ Med. 1976 Sep; vol 47 (9): 969-73

\_\_\_\_\_, **et al.** Heat temperature effects on physiology, comfort, and performance during hyperthermia. Aviat Space Environ Med 1982; 53:623-628

Norma ISO 7342 Índice de Temperatura Global de Bulbo Húmedo: WET BULB GLOBE TEMPERATURE INDEX (WBGT)

OZAKI H, SAKAGAMI J, KAI Y, NAGAYA T, OGAWA W (Southwestern Composite Air Division). Thermal Stress and Thermal Strain of JASDF Pilots and Cockpit Environment during Flight. Reports of Aeromedical Laboratory. ISSN: 0023-2858. Vol. 43; No. 3; Page. 25-34(2003)

PALLAVI, S. "Evaluation of pre take-off heat stress in a modern fighter cockpit: A field study". Ind J. Aerospace Med 51 (2), 2007

SHIRREFFS SM. "Markers of hydration status". European Journal of Clinical Nutrition (2003) 57, Suppl 2, S6-S9

Thermal Stress. Fundamentals of Aerospace Medicine. Fourth Edition 2008.  
Chapter 7: 206 – 219. Philadelphia: Lippincott, Williams, and Wilkins.

WEINSTEIN E. Importance of Fluid Replenishment during Physical Activity and Exercise. Ohalo and Tel-Hai Academic Colleges, Israel, Tel-Hai and J&S Academic Colleges, Israel and The Ribstein Center for Research and Sports Medicine, Wingate Institute, Israel

**Páginas de Internet:**

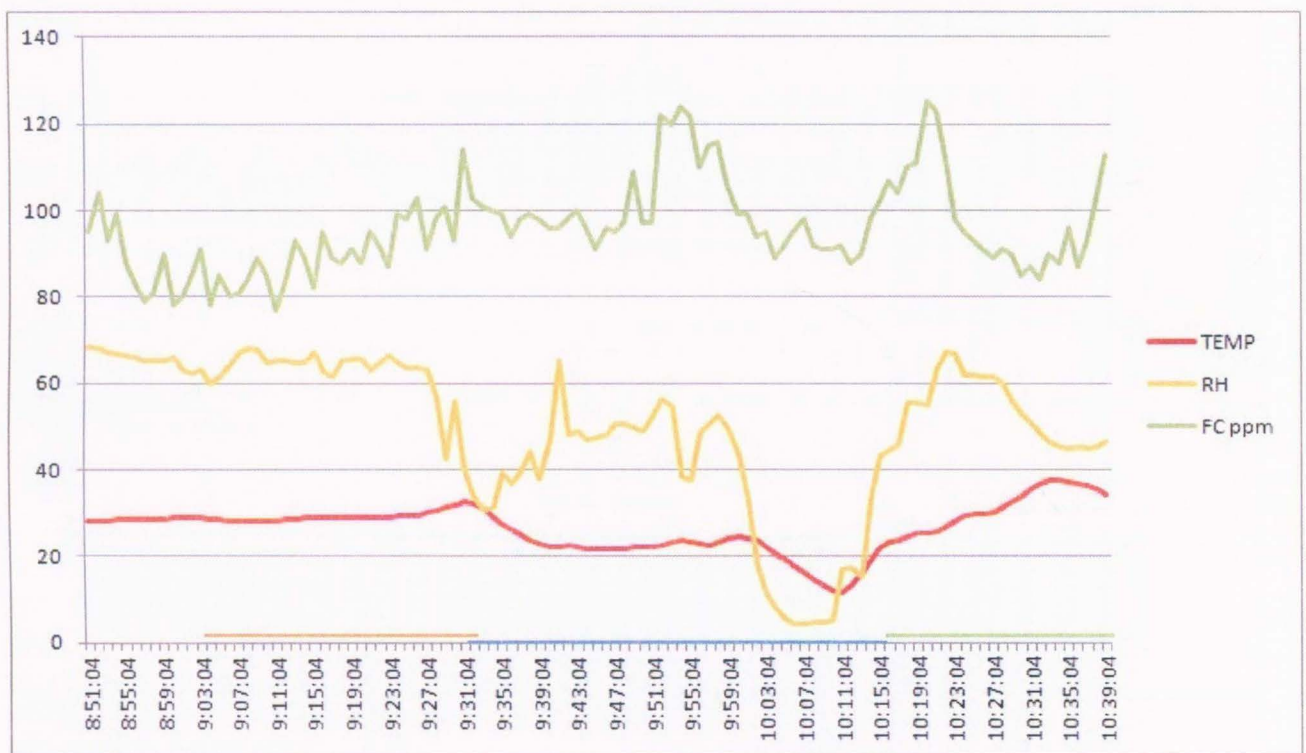
American Conference of Industrial Hygienist (ACGIH) [www.acgih.org/home.htm](http://www.acgih.org/home.htm)

[www.zonaclima.com](http://www.zonaclima.com) — [www.meteovista.com/north-america/united-states/las -  
vegas/](http://www.meteovista.com/north-america/united-states/las-vegas/)

# ANEXOS

## GRAFICOS

**FIGURA 1.** Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardiaca de piloto No.1 - **VUELO No.1**



Registro: 2 h: 12 min

- TEMPERATURA EN CABINA:

Máxima: 37.6 grados. Tiempo: 10:31:04 horas. FASE: DESPUES DE ATERRIZAR

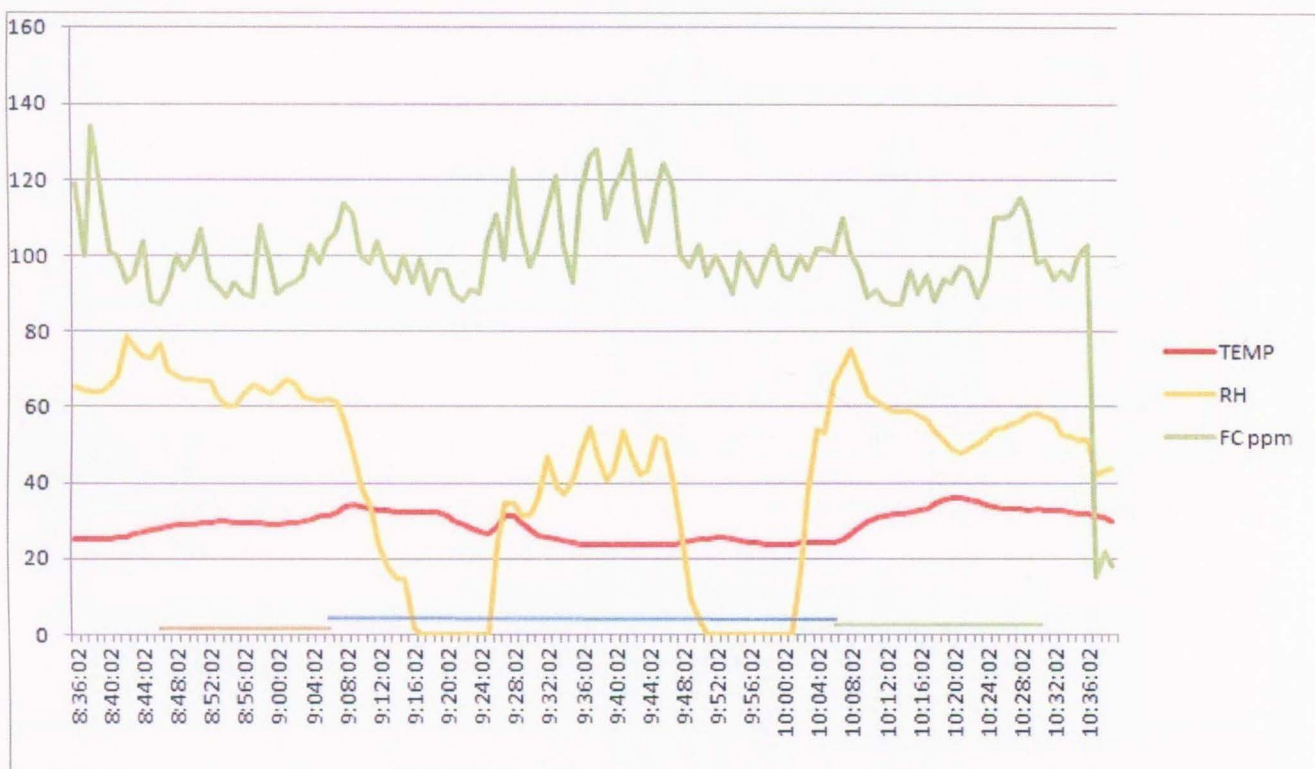
Mínima: 11.7 grados. Tiempo: 10:11:04 horas. FASE: VUELO

- HUMEDAD RELATIVA:

Máxima: 68.2 % Tiempo: 8:51:0 horas. FASE: PREVUELO - AMARRADA

Mínima: 4.3 % Tiempo: 10:07:04 horas FASE: VUELO

**FIGURA 2.** Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardíaca de piloto No.2 - **VUELO No.2**



Registro: 2 horas

- TEMPERATURA EN CABINA:

Máxima: 36.1 grados. Tiempo: 10:08:02 horas. FASE: DESPUES DE ATERRIZAR

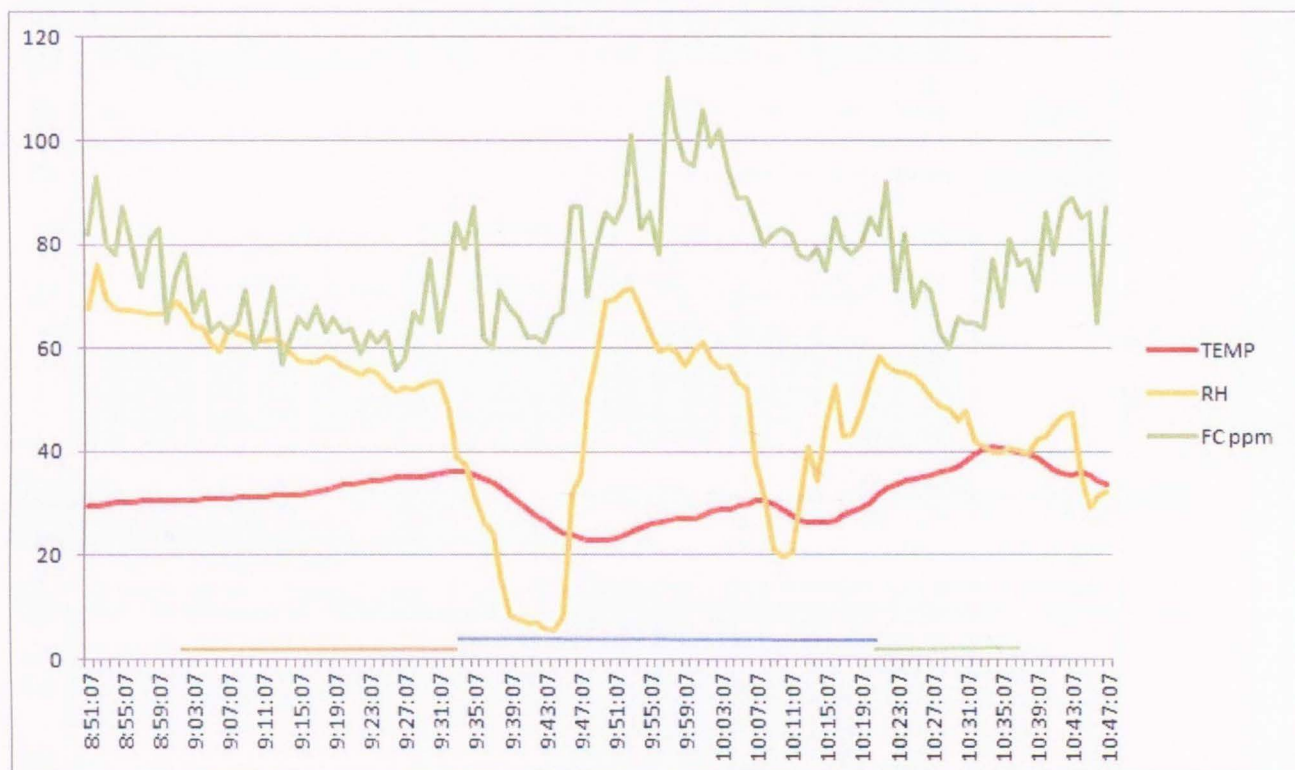
Mínima: 23.5 grados. Tiempo: 9:44:02 horas. FASE: VUELO

- HUMEDAD RELATIVA:

Máxima: 79 % Tiempo: 08:40:02 horas. FASE: PREVUELO - AMARRADA

Mínima: 0 % Tiempo: 09:20:02 horas y 09:56:02 horas FASE: VUELO

**FIGURA 3.** Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina- Frecuencia Cardíaca de piloto No.3- **VUELO No.3**



### Registro: 2 horas

- TEMPERATURA EN CABINA:

Máxima: 40.9 grados. Tiempo: 10:35:07 horas. FASE: DESPUES DE ATERRIZAR

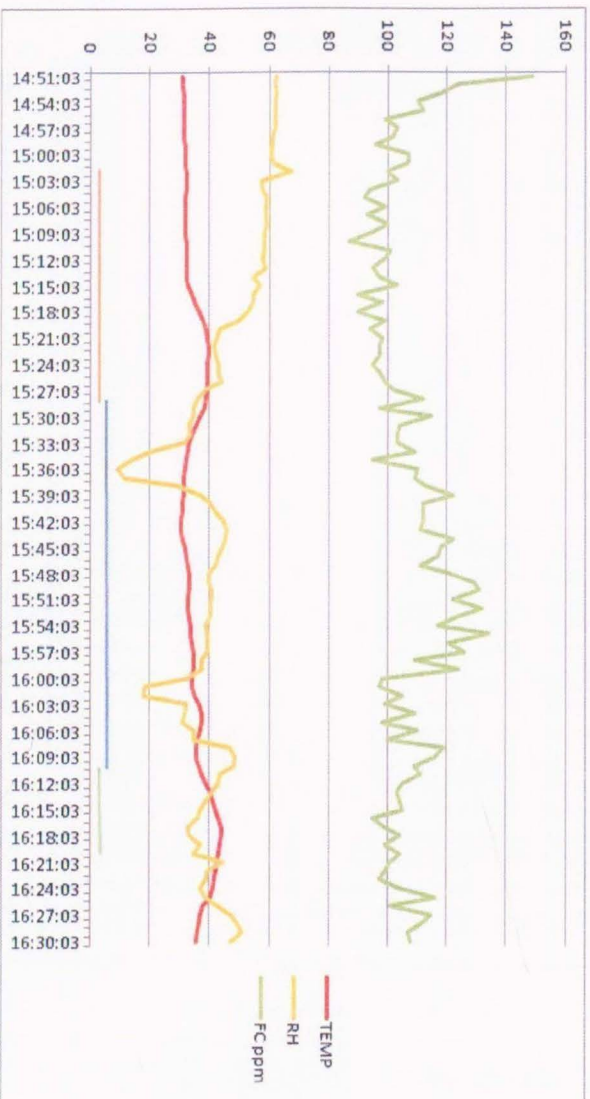
Mínima: 22.9 grados. Tiempo: 09:47:72 horas. FASE: VUELO

- HUMEDAD RELATIVA:

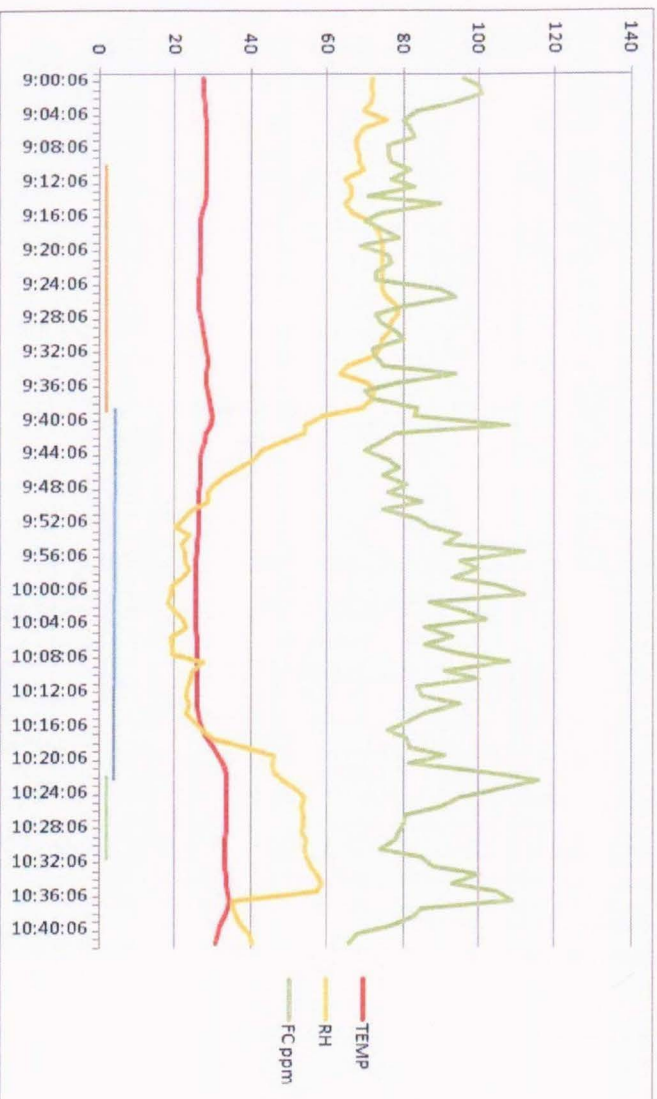
Máxima: 76.1 % Tiempo: 08:51:02horas. FASE: PREVUELO - AMARRADA

Mínima: 5.5 % Tiempo: 09:43:07 horas FASE: VUELO

**FIGURA 4.** Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardiaca de piloto No.4 - **VUELO No.4**

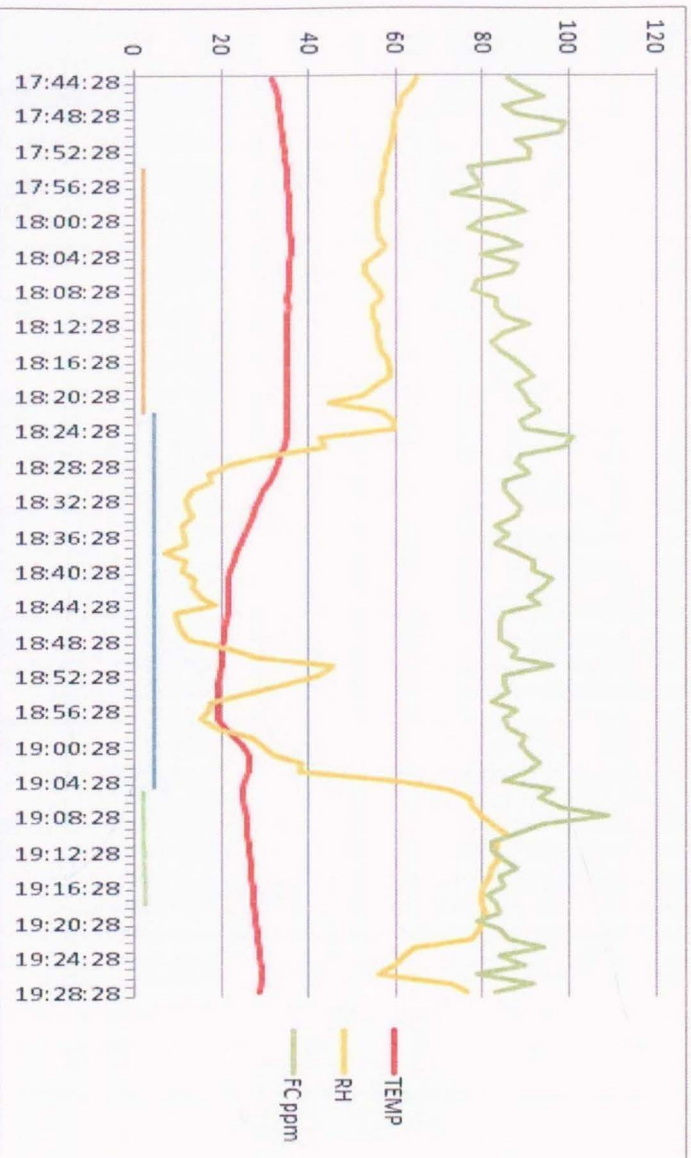


**FIGURA 5.** Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardiaca de piloto No.5 - **VUELO No.5**

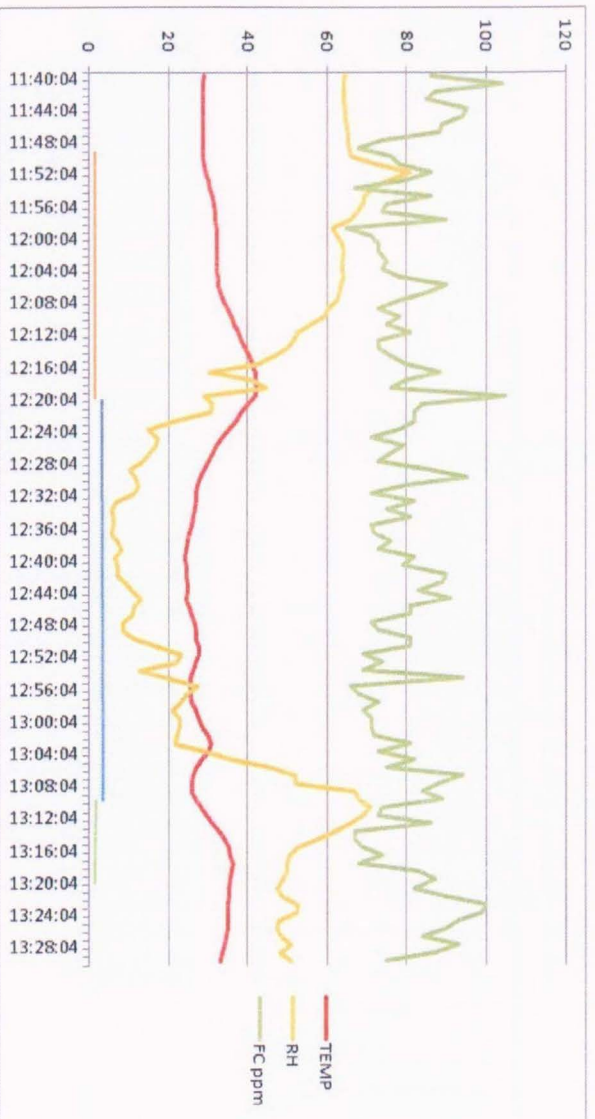




**FIGURA 6.** Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardiaca de piloto No.6 - **VUELO No.6**



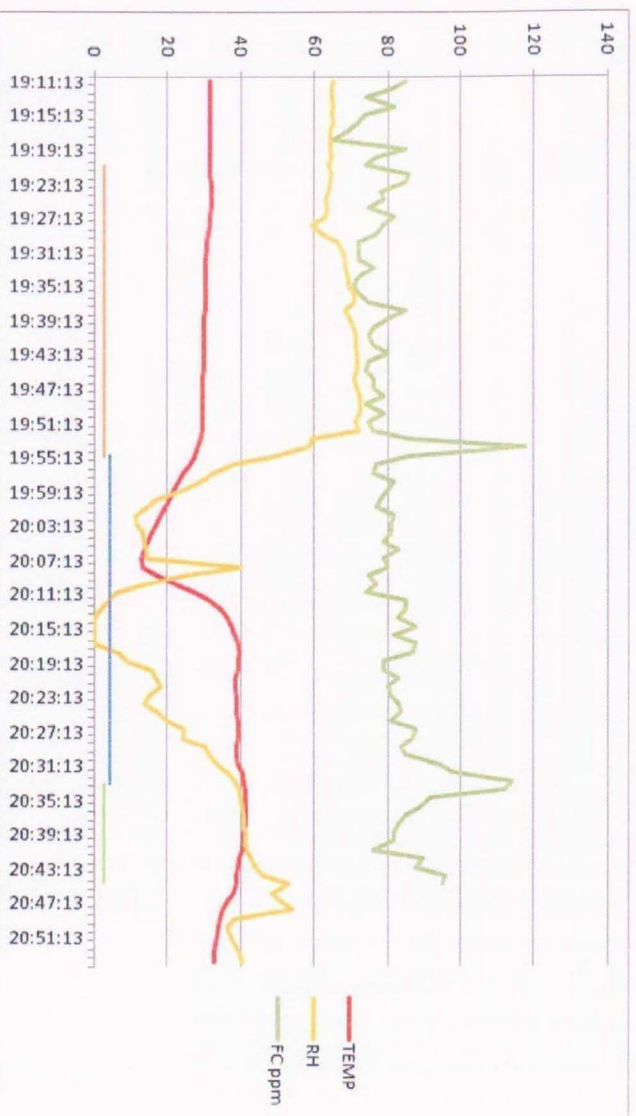
**FIGURA 7.** Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardiaca de piloto No.7 - **VUELO No.7**



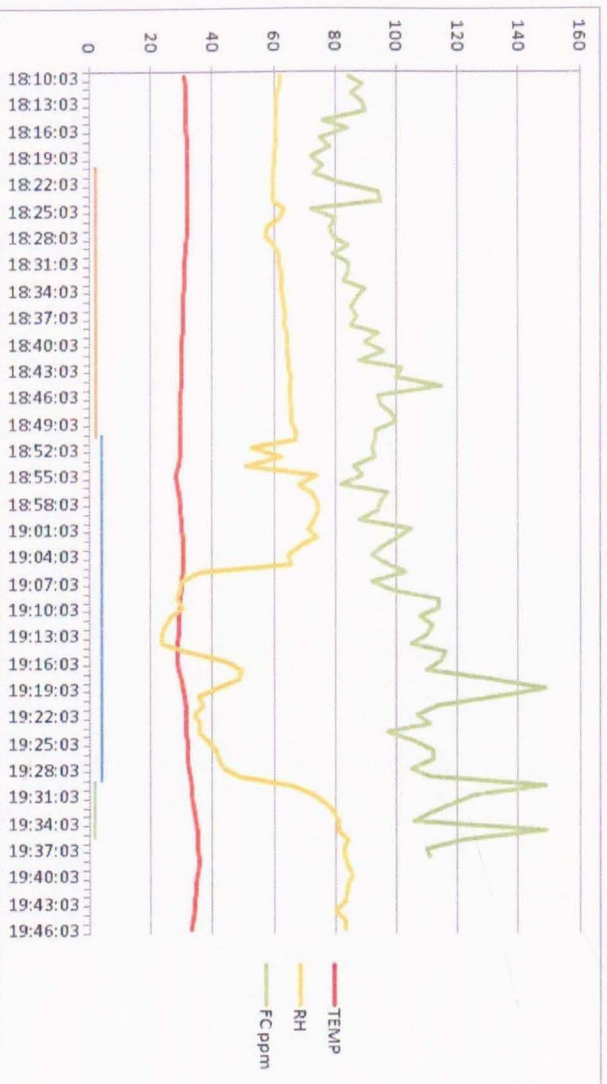
**FIGURA 8.** Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardiaca de piloto No.8 - **VUELO No.8**



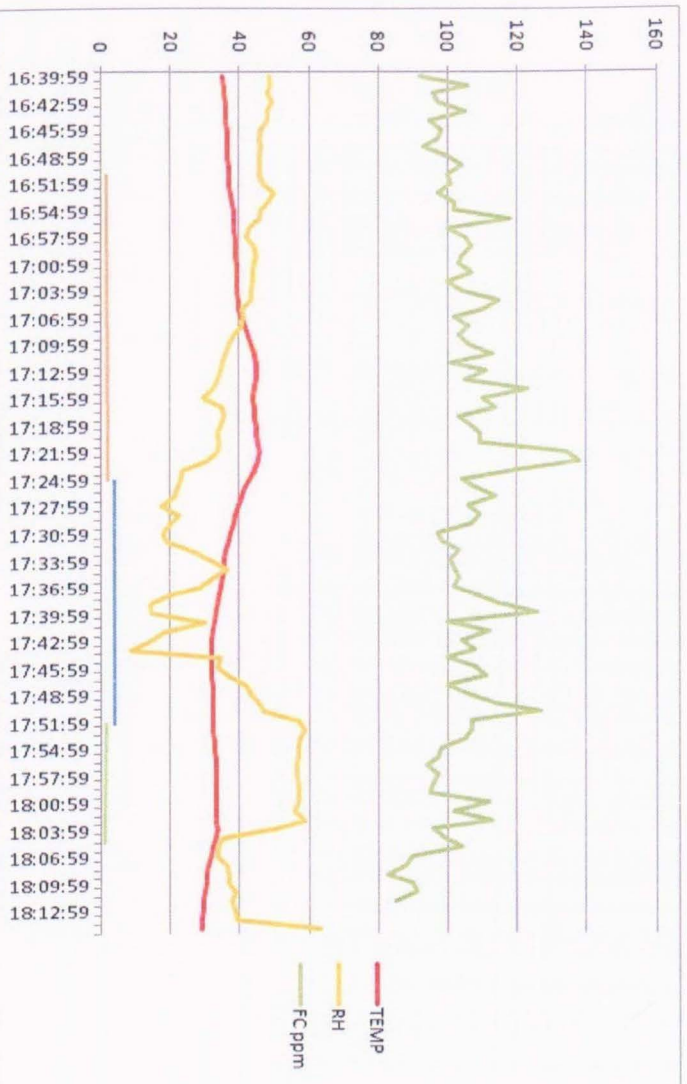
**FIGURA 9.** Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina– Frecuencia Cardiaca de piloto No.9 - **VUELO No.9**



**FIGURA 10.** Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina— Frecuencia Cardiaca de piloto No.10 - **VUELO No.10**



**FIGURA 11.** Registro Temperatura y Humedad Relativa en Cabina— Frecuencia Cardiaca de piloto No.11- **VUELO No.11**



## ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA



ESDEGUE-SIIA-CEESEDEN

### ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

#### **DETERMINACIÓN DE FACTORES DE ESTRÉS TÉRMICO EN PILOTOS DEL ESCUADRÓN K-FIR DE LA FUERZA AEREA COLOMBIANA**

Autor: Mayor Alexandra Mejía D. [alexandra.mejia@esdegue.edu.co](mailto:alexandra.mejia@esdegue.edu.co)

##### Resumen

Estudio descriptivo con el objetivo de determinar los factores ambientales en los vuelos y su repercusión fisiológica, asociados a estrés térmico en once pilotos del escuadrón K-FIR. Se encontró incidencia importante de deshidratación en los pilotos. El Índice de Estrés Térmico en aviación de combate FITS, encontró que en 10 de los 11 vuelos analizados, las condiciones de temperatura y humedad relativa ambientales se encontraban en zona de precaución y uno en zona de peligro. El registro simultáneo de temperatura y humedad relativa en la cabina durante los vuelos mostró en promedio una Temperatura MAXIMA: 39.0 grados y Humedad relativa MAXIMA: 74.2%, con un máximo valor de temperatura registrada en cabina de 45.6 grados C; estos son factores ambientales propicios para desarrollar hipertermia y deshidratación en los pilotos. Así mismo, se encontró un aumento en promedio de 9,3 grados centígrados dentro de la cabina con relación a la temperatura ambiental, situación de importancia fisiológica

Palabras Clave: Palabras claves: deshidratación, temperatura, humedad relativa, FITS, cabina

## Introducción

Las condiciones térmicas elevadas a las cuales están expuestos los pilotos de aeronaves de combate pueden afectar el rendimiento y la tolerancia a las fuerzas de gravedad, lo que puede repercutir de forma negativa en la seguridad aérea<sup>23</sup>. Se hace necesario explorar de qué forma este riesgo ocupacional, está presente y produce un impacto en las tripulaciones. Este es el primer estudio en la Fuerza Aérea Colombiana que explora esta condición, el cual busca determinar mediante mediciones objetivas las condiciones ambientales propicias para desarrollar estrés térmico en una población de pilotos del Equipo KFIR. Se establece la presencia de deshidratación en los pilotos, el Índice de Estrés Térmico en Aviación de Combate (FITS) en diferentes vuelos y se mide la temperatura y humedad relativa en las cabinas de aviones de combate.

### 1. Desarrollo teórico

La aviación de combate expone al piloto a una serie de factores de estrés, dentro de cuales se encuentra el stress térmico, el cual se produce, por ejemplo, con la exposición a temperaturas elevadas antes del despegue (durante las fases de prevuelo, encendido, taxeo y en espera para el despegue) en un clima cálido. El sistema de aire acondicionado no es efectivo durante estas fases, lo que permite el calentamiento excesivo de la cabina.

La carga térmica experimentada en la cabina es más severa que en la rampa debido a la disminución de la velocidad del aire, el uso del equipo de vuelo, e incremento de la carga de calor radiante.

Se ha llegado a determinar que la temperatura de bulbo seco en la cabina, tanto en aviones como en helicópteros, alcanza los 50 grados centígrados, cuando la temperatura ambiental es de 25 grados centígrados. La deshidratación aparece entonces, como resultado del incremento de la sudoración ocasionada por la exposición al calor, disminución del mecanismo de evaporación secundario al uso

---

<sup>23</sup> NUNNELEY SA, et al. Physiological effects of solar heat load in fighter cockpit. Aviat Space Environ Med. 1976 Sep; vol 47 (9): 969-73

del overol y equipo de vuelo, y las actividades ejecutadas en la fase de prevuelo. Puede existir además, un factor contribuyente adicional caracterizado por la supresión en la ingesta de líquidos con el fin de evitar la necesidad de orinar durante el vuelo en el individuo<sup>24</sup>.

La carga térmica experimentada en la cabina es más severa que en la rampa debido a la disminución de la velocidad del aire, el uso del equipo de vuelo, e incremento de la carga de calor radiante.

Se ha llegado a determinar que la temperatura de bulbo seco en la cabina, tanto en aviones como en helicópteros, alcanza los 50 grados centígrados, cuando la temperatura ambiental es de 25 grados centígrados. La deshidratación aparece entonces, como resultado del incremento de la sudoración ocasionada por la exposición al calor, disminución del mecanismo de evaporación secundario al uso del overol y equipo de vuelo, y las actividades ejecutadas en la fase de prevuelo. Puede existir además, un factor contribuyente adicional caracterizado por la supresión en la ingesta de líquidos con el fin de evitar la necesidad de orinar durante el vuelo en el individuo<sup>25</sup>.

## **2. Trabajo de campo**

### **Población a estudio**

La población de estudio la constituye once (11) pilotos operacionales del equipo K-FIR que realizaron entrenamiento para participar en el ejercicio operacional RED FLAG

### **Diseño metodológico**

Estudio observacional, descriptivo de corte transversal

---

<sup>24</sup> Ldr PALLAVI, S. Sharma. "Evaluation of pr take-off heat stress in a modern fighter cockpit: A field study". Ind J. Aerospace Med 51 (2), 2007.

<sup>25</sup> Ldr PALLAVI, S. Sharma. "Evaluation of pr take-off heat stress in a modern fighter cockpit: A field study". Ind J. Aerospace Med 51 (2), 2007.

## **Materiales y métodos.**

Estudio descriptivo transversal, realizado en el año 2012 durante los meses de marzo a julio, con un total de 11 pilotos que aceptaron participar en la investigación. Se realizó monitoreo cardíaco durante diferentes vuelos. Durante los mismos se registró la temperatura y humedad relativa de la cabina de avión K-FIR. Así mismo, se determinó en Índice de Stress Térmico FITS del ambiente con información suministrada por la estación meteorológica local de la Base Aérea CACOM-3 Malambo, Atlántico y la Base Aérea de CACOM-1 Puerto Salgar, Cundinamarca.

### **Medición de condiciones de la cabina para estrés térmico.**

Se utilizó un termo higrómetro digital portátil de marca EXTECH 445580 el cual se instaló con un soporte adaptado en la cabina de las aeronaves KFIR. Se realizó el monitoreo sincronizado y registro simultáneo de Temperatura (en grados Centígrados) y Humedad Relativa (Porcentaje) durante todos los segmentos del vuelo en diferentes vuelos. Los datos fueron descargados de este equipo al software provisto por el fabricante y se pasaron a una tabla de Excel

### **Medición de la respuesta fisiológica de exposición a calor o estrés térmico en los pilotos.**

Se tuvo en cuenta el monitoreo de la frecuencia cardíaca durante los vuelos. De acuerdo a la recomendación de la American Conference of Governmental Hygienist ACGIH -2009, la frecuencia cardíaca no debe sobrepasar de 180 pulsos/min menos la edad del trabajador expuesto al calor. Para ello se utilizó un monitor de frecuencia cardíaca tipo Polar RS800CX.

### **Medición de Índice de Estrés Térmico en pilotos de combate (Fighter Index of Thermal Stress FITS).**

Se tuvo en cuenta la temperatura ambiental de bulbo seco y la humedad relativa ambiental en la estación. Estos datos que fueron suministrados por la estación meteorológica del CACOM-3 y el CACOM-1. La información se cruzo en las tablas establecidas por la Fuerza Aérea de los EEUU para este índice denominado Fighter Index of Thermal Stress.

### **Evaluación de deshidratación.**

Se realizó el análisis de la muestra de orina recolectada en la fase de alistamiento (prevuelo) y en una segunda muestra recolectada de cada individuo en el periodo inmediato post-vuelo. Se determinó la densidad urinaria pre y post vuelo de dos vuelos diferentes con una duración de 4:18 horas y 4:22 horas respectivamente en 8 y 5 pilotos

en cada uno de los vuelos. Se utilizaron tirillas reactivas para uro análisis de marca COMBUR TEST de Roche ®. Se consideró los siguientes parámetros de densidad urinaria para medir la deshidratación<sup>26</sup>.

#### Parámetros de Densidad Urinaria

<b>Bien hidratado</b>	<b>menor 1.010</b>
<b>Deshidratación Leve</b>	<b>1.010 – 1.020</b>
<b>Deshidratación Significativa</b>	<b>1.021 – 1.030</b>
<b>Deshidratación Severa</b>	<b>&gt; 1.030</b>

Fuente: Douglas J. Casa, Lawrence E. Armstrong, Scott J. Montain, Ralph V. Reiff, Brent S.E. Rich,; William O. Roberts, Jennifer A. Stone. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes. Journal of Athletic Training, 2000; 35 (2): 212-224

Datos demográficos de la Población n=11

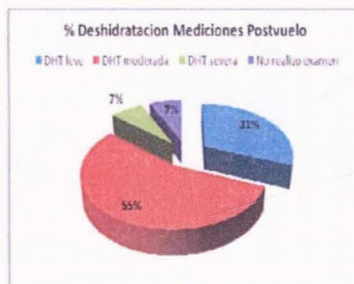
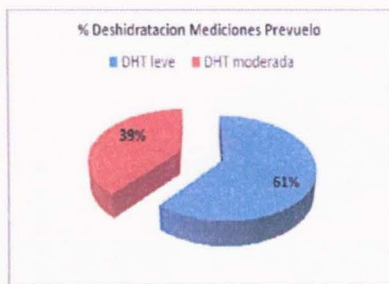
VARIABLE	MEDIA
Edad (años)	33,7
Peso (kg)	77,27
Talla (cms)	176,62
I.M.C (kg/cm <sup>2</sup> )	25,51

En promedio se calculó un IMC de 25,51 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose esta población en sobrepeso grado I, de acuerdo con el límite del Índice de Masa Corporal (mayor a 24,9 kg/cm<sup>2</sup>) de la O.M.S.

#### Incidencia de Deshidratación Pre y Post Vuelo

<sup>26</sup> DOUGLAS J. Casa, et al. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes. Journal of Athletic Training, 2000; 35 (2): 212-224.

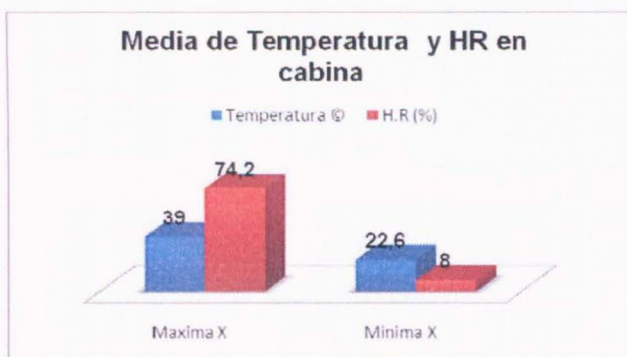


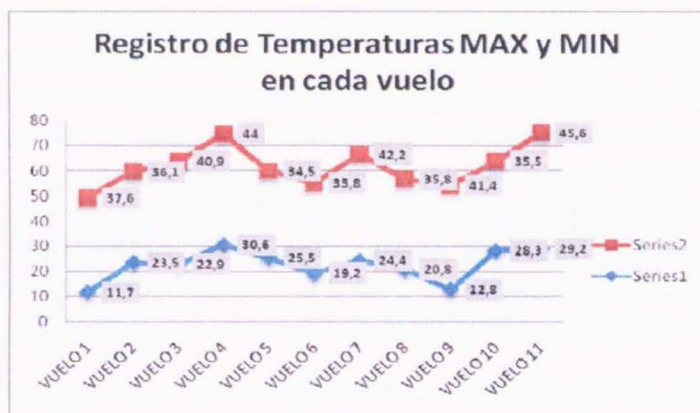


Indice de Estrés Térmico FITS:

VUELO	FECHA	TEMPERATURA AMB (C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	FITS	ZONA
1	15/03/12	28	80	35.4	CAUTION
2	23/03/12	28	70	36.1	CAUTION
3	23/03/12	30	70	36.8	CAUTION
4	11/05/12	30	60	35.4	CAUTION
5	16/05/12	30	55	33.9	CAUTION
6	17/05/12	30	70	36.8	CAUTION
7	25/05/12	31	70	36.8	CAUTION
8	12/06/12	28	60	35.4	CAUTION
9	13/06/12	29	60	35.4	CAUTION
10	18/06/12	29	70	36.8	CAUTION
11	19/06/12	34	80	43.9	DANGER

Promedio de Temperatura y Humedad relativa registradas en cabina: (n=11 vuelos)





En todos los pilotos estudiados se encontró el aumento de la frecuencia cardiaca por encima de 100 latidos por minuto en todos los vuelos; solamente en dos sujetos se encontró un incremento por encima del umbral recomendado por la ACGIH de TLV's que indica que la frecuencia cardiaca no debe sobrepasar de 180 pulsos/min menos la edad del trabajador expuesto a calor, como pulso sostenido por varios minutos.

Piloto	Frecuencia Cardiaca Máxima	180 - edad
1	125	180-33 = 147
2	128	180-32 = 148
3	112	180-34 = 146
4	134	180-35 = 145
5	116	180-34 = 146
6	109	180-36 = 144
7	105	180-32 = 148
8	161	180-32 = 148
9	118	180-34 = 146
10	149	180-37 = 143
11	138	180-32 = 148

### 3. Análisis de la información

Se encontró una importante elevación de la temperatura registrada dentro de la cabina de los aviones K-FIR (en promedio 9,3 grados) con respecto al ambiente. Esto supone que las temperaturas que experimentan los pilotos dentro de la cabina son mayores que las del medio ambiente, hallazgo similar a lo descrito en otros estudios internacionales en aviación; por ejemplo, se llegó a determinar que la temperatura de bulbo seco en la cabina, tanto en aviones como en helicópteros, alcanza los 50 grados centígrados,

cuando la temperatura ambiental es de 25 grados centígrados<sup>27</sup>. Así mismo, se registraron altas temperaturas en cabina, similar a los datos obtenidos en otros estudios, uno de ellos realizado con 250 pilotos de la Fuerza de Defensa Aérea del Japón (JASDF), se demostró que la temperatura en vuelo superó los 30 grados centígrados y la temperatura en operaciones efectuadas en tierra alcanzo los 45 grados centígrados en verano<sup>28 29</sup>. Similar a los hallazgos descritos con ocho pilotos en la Base Edwards AFB, donde se registro una temperatura en cabina en aviones F-15, de 35.2 grados a la sombra y de 51.9 grados bajo el sol. Otra investigación efectuada con aeronaves A-10 de Nellis AFB, encontró una elevación de temperatura sobre los 40 grados centígrados.

El stress térmico que se genera en aviación por la exposición a temperaturas elevadas antes del despegue (durante las fases de prevuelo, encendido, taxeo y en espera para el despegue) en un clima cálido según lo describe la literatura (18) se evidenció en los resultados que fueron muy similares en el presente estudio, donde se pudo apreciar que las etapas del vuelo donde mayor temperatura y humedad relativa experimentan los pilotos fue en el PERIODO ANTES DEL DESPEGUE (que incluye Prevuelo, amarrada, encendido, taxeo y espera para el despegue) con una temperatura máxima registrada de 45,6 grados en uno de los vuelos<sup>30</sup>.

Aunque existen diversos índices para valorar estrés térmico en el ámbito ocupacional de acuerdo con la revisión bibliográfica<sup>31</sup> se decidió emplear las tablas del FITS que traduce Índice de Estrés Térmico en Pilotos de Combate, método que es empleado en las Unidades de la Fuerza Aérea de los EEUU como medida de estimación de riesgo ambiental teniendo en cuenta la temperatura y humedad relativa, lo cual permite establecer la zona de riesgo. Por lo cual se recomienda sea aplicado y difundido en las unidades de la FAC

#### 4. Conclusiones

- La presencia de factores tanto en el ambiente local como en la cabina de los aviones K-FIR, que pueden generar estrés térmico en la población estudiada es importante, así como también, la alta incidencia de deshidratación. Se deben considerar como un factor de interés fisiológico ya que potencialmente podría llegar a afectar el adecuado desempeño físico y cognitivo de los pilotos. Es relevante el hallazgo de que la

---

<sup>27</sup> Ldr Pallavi, S et al. Op cit.

<sup>28</sup> OZAKI H, SAKAGAMI J, KAI Y, NAGAYA T, OGAWA W Op Cit

<sup>29</sup> FLIGHT SAFETY FUNDATION. Aviation Medicine: Dehydration presents unique risks for pilots.. Vol 48 No. 4 July- August 2001.

<sup>30</sup> Ibid.

<sup>31</sup> Ibid.

temperatura registrada dentro de la cabina es mayor que en el ambiente, en promedio 9 grados por encima de la ambiental.

- Se deben implementar y mantener programas de acondicionamiento físico en el personal de pilotos de K-FIR, con el fin de mejorar la respuesta cardiovascular y aumentar la resistencia a estrés térmico. Así mismo, este personal debería mantenerse con un Índice de Masa Corporal dentro de límites normales, pues dentro de otros beneficios, una buena condición física mejora la tolerancia a las aceleraciones, y disminuye riesgo de enfermedad por descompresión, riesgos de interés en la aviación de combate.
- Una inquietud manifestada por los pilotos del equipo K-FIR era la de tener la posibilidad de efectuar el procedimiento de la prendida hasta el despegue con la carlinga abierta, teniendo que este procedimiento se realiza con la carlinga cerrada y esto genera sensación térmica elevada.\* Considerando que en los hallazgos relevantes del presente estudio fue determinar que la mayor exposición de los individuos a altas temperaturas y humedad relativa, ocurre principalmente en el PERIODO ANTES DEL DESPEGUE, estos resultados sirven de soporte académico para poder sugerir cambiar el procedimiento al de carlinga abierta durante la prendida y el taxeo
- Así mismo, el pico elevado que nuevamente se alcanza de estos parámetros, durante el, PERIODO ATERRIZAJE HASTA LA APAGADA: (temperatura de 44 grados), sugiere la necesidad de evaluar la causa y posible solución, y verificar el procedimiento de alistamiento de ambiente de cabina antes del aterrizaje
- Es importante considerar el impulso al desarrollo de tecnología en el diseño de equipos y trajes de refrigeración para los pilotos, estrategias de prevención como incentivar una cultura de adecuada hidratación, por lo que se debe contar con fuentes de hidratación de fácil acceso en las unidades.
- El haber efectuado esta primera aproximación al problema, permite obtener información crucial como base para la creación y el desarrollo de estudios adicionales complementarios que determinen el impacto del estrés térmico en los pilotos, que incluyan la utilización de otras pruebas tales como pruebas psicométricas, y medición de otras variables fisiológicas, con el fin de elaborar modelos predictivos de rendimiento en los pilotos, y a la vez crear o modificar políticas existentes sobre los procedimientos en las operaciones de este equipo<sup>32</sup>.

## Bibliografía

---

<sup>32</sup> Discusión académica efectuada con los pilotos de K-FIR durante clase de fisiología de vuelo. Marzo de 2012. MY ALEXANDRA MEJIA D (instructora)

- AMSTRONG LE, et al. Urinary Indices of hydration status. *Int. J. Sport Nutr.* (4), 265-279. 1994
- BALDIN UI et al. Rehydration and G tolerance, psychomotor performance and muscle function. Aerospace Medical Association Annual Scientific Meeting. *Aviat. Space Environ. Med.* 1984 ;55:467:
- DELIGNIERES D, et al. IX th European Congress on Sport Psychology. Bruxelles, 1995 (FEPSAC) Effects of Heat Stress and time on task on reaction time. University of Montpellier
- DOUGLAS J. Casa, et al. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes. *Journal of Athletic Training*, 2000; 35 (2): 212-224
- EPSTEIN Yoram, MORAN S (2006) Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. Review Article. *Industrial Health* 2006, 44, 388-398.
- FLIGHT SAFETY FOUNDATION. *Aviation Medicine: Dehydration presents unique risks for pilots..* Vol 48 No. 4 July- August 2001
- GONZALEZ, Alonso J, et al. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise *J Appl Physiol* 82:1229-1236, 1997
- JAIN PK et al. Heat stress in fighter-upgrade aircraft. *Ind J Aerospace Med* 46(1), 2002
- NUNNELEY SH, Stribley F (1979) FITS. Fighter Index of Thermal Stress: Development of Interim Guidance for Hot Weather Aircraft Operations. USAF School of Aerospace Medicine AFSC. Brooks AFB, Texas. 78235
- Tamayo, A. *Metodología de la investigación científica*, Bogotá, Editorial Norma, 2007

BIBLIOTECA CENTRAL DE LAS FF. MM.

"TOMAS RUEDA VARGAS"



054700