



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Caracterización del Escaneo Visual de Instrumentos en Desorientación Espacial Inducida en Pilotos de Ala Fija de la Fuerza Aérea Colombiana**

**CÉSAR A. OLAYA SANTAMARÍA**

**Director trabajo de grado:**

**YAMIL A. DIAB FORERO**

Universidad Nacional de Colombia  
Fuerza Aérea Colombiana  
Departamento de Medicina Interna  
Especialidad Medicina Aeroespacial  
Bogotá, Colombia

2021



# **Caracterización del Escaneo Visual de Instrumentos en Desorientación Espacial Inducida en Pilotos de Ala Fija de la Fuerza Aérea Colombiana**

**CÉSAR ARNALDO OLAYA SANTAMARÍA**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

**Especialista en Medicina Aeroespacial**

Director:

**Dr. Yamil Antonio Diab Forero**

Línea de Investigación:

Factores Humanos

Universidad Nacional de Colombia

Fuerza Aérea Colombiana

Departamento de Medicina Interna

Medicina Aeroespacial

Bogotá, Colombia

202



## *Dedicatoria*

*A mi Madre Silvia Rosa Santamaría de Olaya.*

*Dedico este trabajo de todo corazón a mi madre, pues con su aliento lo puedo todo. Tus oraciones a lo largo de mi vida me cubren y me llevan por este valle de ventura y sacrificios. Te ofrezco este trabajo y mis gracias infinitas por darme la vida, tu abnegación y eterno cariño madre bella.*



## Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



---

CESAR A. OLAYA SANTAMARIA.



---

YAMIL A. DIAB FORERO

Fecha 19/02/2021

## **Agradecimientos**

A la Fuerza Aérea Colombiana, en especial a la Dirección de Medicina Aeroespacial DIMAE, por su disposición y entera confianza al permitir desarrollar este trabajo en su laboratorio de Desorientación Espacial Avanzado, destacando el apoyo de la Señora Coronel Eliana Patricia Rincón Sánchez directora del DIMAE; el Dr. Diego Leonel Malpica profesor e instructor del DEA; y el Señor Técnico Subjefe Arley Mayorga Moreno operador del DEA.

A la Universidad Nacional de Colombia en especial a Mónica Forero Díaz Docente Escuela de Diseño Gráfico por su apoyo con el instrumento eye tracker, El Dr. Yamil Diab director de este trabajo de grado, por su tiempo y constante disposición en el desarrollo de esta tesis.

Y a todos los que de una u otra forma colocaron su granito de arena en este objetivo, mil gracias.



## Resumen

### **Caracterización del Escaneo Visual de Instrumentos en Desorientación Espacial Inducida en Pilotos de Ala Fija de la Fuerza Aérea Colombiana\***

#### **\*Descripción:**

Este trabajo de investigación abordó el tema de la desorientación espacial en los pilotos en quienes se ha propuesto como contramedida la técnica visual de chequeo de instrumentos como base para optimizar el rendimiento ante esta ilusión fisiológica. Este estudio busca caracterizar los comportamientos visuales utilizados en el entrenamiento simulado en un escenario de desorientación espacial de tipo inclinaciones.

#### **Problemática**

Se ha observado que algunos pilotos con poca experiencia en su entrenamiento en el simulador de desorientación espacial presentan dificultades con el control de la aeronave. Encontrar métodos de retroalimentación positiva para el uso del instructor puede mejorar los resultados de aprendizaje de estos ejercicios.

#### **Objetivo Del Proyecto**

Determinar los patrones de escaneo visual de la técnica visual de chequeo cruzado de instrumentos en la población de estudio, mediante los tiempos de fijación en los instrumentos de control y comportamiento durante la ilusión de inclinación inducida en el desorientador espacial GYRO II; Tener puntos de partida para proponer mejoras en el programa de entrenamiento en desorientación espacial de la Fuerza Aérea Colombiana

#### **Diseño o Metodología**

Se empleó un simulador de desorientación espacial GYRO IPT II integrado con controles interactivos de la aeronave T6 Texan II y un dispositivo de rastreo ocular Tobi I.

Participaron veinticuatro pilotos militares competentes en mantener un vuelo recto y nivelado que habían probado tener habilidades para volar este simulador. Los pilotos fueron expuestos al perfil de la ilusión inclinaciones mientras el simulador desaceleraba su velocidad angular o de guiñada. El comportamiento del punto de vista fue monitoreado en la fase de la inducción de desorientación.

### **Resultados**

Se encuentra que el 83.1% de la población del estudio ha experimentado la desorientación espacial tipo 1 o reconocida de forma leve. Inmediatamente al quedar bajo la percepción errada del sistema vestibular los pilotos presentan técnica visual de chequeo de instrumentos en las que concentran su mirada principalmente en los instrumentos ADI, ALT y VSI intentando conservar la altitud. Todos los sujetos reconocieron la desorientación espacial y presentaron una correlación significativa entre una técnica visual de chequeo cruzado de instrumentos adecuada y las variables menores pérdida de altura  $p=0,002$ , no violación de MSA  $p=0.011$  y mayor número de fijaciones en instrumentos  $p=0,04$ .

No se encontró una relación entre las variables de desempeño y la experiencia según horas de vuelo.

### **Conclusión**

La ilusión de inclinación en el simulador de desorientación espacial avanzado GYRO IPT II afecta el control de la aeronave y una adecuada técnica visual de chequeo instrumentos, observada mediante el dispositivo de rastreo de mirada, contrarresta la pérdida de altura.

**Palabras clave: Desorientación espacial, comportamiento de la mirada, seguimiento ocular, simulador de desorientación espacial.**

## **Abstract**

### **Characterization of Visual Scanning of Instruments in Induced Spatial Disorientation in Fixed Wing Pilots of the Colombian Air Force \***

#### **\*Description:**

This research work addressed the issue of spatial disorientation in pilots in whom the visual instrument check technique has been proposed as a countermeasure as a basis for optimizing performance in the face of this physiological illusion. This study seeks to characterize the visual behaviors used in simulated training in an inclination-type spatial disorientation scenario.

#### **Problematic**

It has been observed that some pilots with little experience in their training in the disorientation simulator have difficulties with the control of the aircraft. Finding positive feedback methods for use by the instructor can improve the learning outcomes of these exercises.

#### **The objective of the project**

To determine the visual scanning patterns of the visual technique of cross-checking of instruments in the study population, using the fixation times in the control instruments and behavior during the inclination illusion induced in the GYRO II spatial disorientation; Have starting points to propose improvements in the space disorientation training program of the Colombian Air Force

#### **Design or Methodology**

A GYRO IPT II spatial disorientation simulator integrated with interactive controls from the T6 Texan II aircraft and an Eye-Tracker device was used. Twenty-four military pilots

proficient in maintaining a straight and level flight participated who have proven their abilities to fly this simulator. The speed pilots were exposed to the profile of the tilting illusion while the simulator decelerated their yaw or angle. Point of view behavior was monitored in the disorientation induction phase.

### **Results**

I know that 83.1% of the study population has experienced spatial disorientation type 1 or recognized mildly. Immediately upon being under the wrong perception of the vestibular system, the pilots present a visual instrument check technique in which they concentrate their gaze mainly on the ADI, ALT, and VSI instruments, trying to preserve altitude. All the subjects recognized the spatial disorientation and presented a significant correlation between a visual technique of cross-checking of suitable instruments and the minor variables loss of height  $p = 0.002$ , no violation of MSA  $p = 0.011$ , and a greater number of fixations in instruments  $p = 0, 04$ . No relationship was found between performance variables and experience according to flight hours.

### **Conclusion**

The illusion of tilt in the GYRO IPT II advanced spatial disorientation simulator affects aircraft control and an adequate visual instrument check technique, observed by the gaze tracking device, counteracts the loss of height.

**Keywords: Spatial disorientation, gaze behavior, Eye-Tracker , spatial disorientation simulator.**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>XV</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XVII</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Planteamiento del Problema.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Justificación .....</b>	<b>11</b>
<b>3. Estado del Arte .....</b>	<b>15</b>
3.1 Concepto General .....	15
3.2 Historia.....	16
3.3 Porqué del Problema.....	17
3.4 Definición Ampliada y Fisiológica .....	19
3.4.1 Funciones de los Sistemas del Equilibrio .....	21
3.5 Clasificación de la SD .....	24
3.6 Entrenamiento en Desorientación Espacial .....	24
3.6.1 Instrumentos Básicos de Vuelo.....	28
3.6.2 Técnica de Comprobación Radial Cruzada de Instrumentos.....	29
3.7 Epidemiología.....	30
3.7.1 Antecedentes de SD en las fuerzas militares del mundo .....	32
<b>4. Objetivos.....</b>	<b>39</b>
4.1 Objetivos Específicos .....	39
<b>5. Metodología .....</b>	<b>40</b>
5.1 Diseño del Estudio .....	40
5.2 Población .....	40
5.3 Criterios de inclusión .....	40
5.4 Criterios de exclusión .....	40
5.5 Análisis estadístico.....	41
5.6 Procedimientos y recolección de la información .....	41
5.6.1 Variables del Estudio y Definición de Variables .....	45
<b>6. Resultados e Impacto Esperado .....</b>	<b>49</b>
<b>7. Consideraciones Éticas .....</b>	<b>51</b>

<b>8. Cronograma de Actividades.....</b>	<b>53</b>
<b>9. Presupuesto .....</b>	<b>54</b>
<b>10. Resultados .....</b>	<b>56</b>
10.1 Descripción de la Población.....	56
10.1.1 Descripción sociodemográfica.....	56
10.1.2 Caracterización del antecedente de desorientación espacial presentada en vuelo 60	
10.1.3 Caracterización del grupo que presento SD en la población.....	62
10.1.4 Resultados de los tiempos de escaneo instrumentos registrados por el <i>Eye-Tracker</i> .....	63
10.2 Estadísticas multivariadas.....	72
10.2.1 Relaciones Entre las Variables.....	72
10.3 Evaluación analítica de los resultados (bivariado).....	74
10.3.1 Resultados según pérdida de altura (V. continua) .....	74
10.3.2 Resultados según el desenlace de técnica chequeo cruzado adecuada (V. discreta).....	77
10.3.3 Resultados según el desenlace de violación del MSA (V. discreta).....	82
10.4 Análisis asociación entre variables .....	85
<b>11. Discusión.....</b>	<b>87</b>
11.1 Población.....	87
11.2 Características de la Población.....	88
11.3 Caracterización del Antecedente de Desorientación Espacial en Vuelo.....	88
11.4 Caracterización del Uso de Instrumentos Dentro de la Prueba .....	90
11.5 Relaciones Entre las Variables Antecedentes con los Resultados .....	94
11.6 Evaluación Analítica de los Resultados (Bivariado).....	95
11.6.1 Técnica visual de chequeo cruzado adecuada y Horas totales de vuelo .....	96
11.6.2 Técnica visual de chequeo cruzado adecuada y violación de la Altura Mínima del Sector (MSA).....	97
11.6.3 Pérdida altura y clasificación de Experiencia pilotos (novato / experto). .....	98
11.7 Análisis asociación entre variables .....	98
<b>12. Limitaciones.....</b>	<b>99</b>
<b>13. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>101</b>
13.1 Conclusiones .....	101
13.2 Recomendaciones .....	102
<b>A. Anexo: Formato de Recolección de Información .....</b>	<b>105</b>
<b>B. Anexo: Auto reporte de Salud y Examen Médico .....</b>	<b>107</b>
<b>C. Anexo: Consentimiento Informado.....</b>	<b>109</b>
<b>D. Anexo: Formato de recolección de información .....</b>	<b>111</b>
<b>E. Anexo: Instructivo para la Realización del Vuelo Simulado en Desorientación Espacial</b>	<b>114</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>121</b>

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 3-1: Técnica de Chequeo cruzado de instrumentos radial y rectangular.....	30
Figura 5-1: Esquema cabina del desorientador espacial avanzado y gafa <i>eye-tracking</i> .	43
Figura 10-1: Histograma edad.....	57
Figura 10-2: Distribución del rango en los pilotos participantes .....	57
Figura 10-3: Histograma Horas de vuelo .....	58
Figura 10-4: Experiencia de los pilotos.....	58
Figura 10-5: Tipo de equipo de vuelo actual.....	59
Figura 10-6: Número de veces entrenamiento SD - vuelo .....	59
Figura 10-7: Número de veces entrenamiento SD - DEA .....	60
Figura 10-8: Histograma número de veces desorientación espacial en vuelo.....	61
Figura 10-9: Tipo equipo experimentaron SD .....	62
Figura 10-10: Condiciones IMC-VMC .....	63
Figura 10-11: Severidad del SD .....	63
Figura 10-12: Distribución tiempos registrado por <i>eye tracking</i> .....	68
Figura 10-13: Uso de instrumentos durante la prueba ajustado con tiempo de instrumentos de interés .....	69
Figura 10-14: Ploteo fijaciones en instrumentos de interés.....	70
Figura 10-15: Box plot de comparación tiempo de fijación instrumentos Novatos expertos .....	70
Figura 10-16: Técnica Visual de Chequeo cruzado de instrumentos .....	72
Figura 10-17: Perdida de altura hasta la altura mínima del sector. ....	72
Figura 10-18: Primer y segundo plano factorial .....	73
Figura 10-19: Perdida absoluta de altura por horas de vuelo.....	75
Figura 10-20: Perdida absoluta de altura por No. entrenamientos SD – Vuelo .....	75
Figura 10-21:Perdida absoluta de altura por No. entrenamientos SD - DEA.....	76
Figura 10-22: Perdida altura según Experiencia pilotos.....	77
Figura 10-23: Horas de vuelo según chequeo cruzado.....	77
Figura 10-24: Clasificación experiencia de los pilotos.....	78
Figura 10-25: Entrenamientos SD -Vuelo y técnica de chequeo adecuada .....	79
Figura 10-26:Entrenamientos SD -Vuelo y técnica de chequeo adecuada .....	79
Figura 10-27:Entrenamientos SD -Vuelo y técnica de chequeo adecuada .....	80
Figura 10-28: Violación MSA (V. discreta) .....	80
Figura 10-29: No. Perdida de altura y técnica de chequeo adecuada.....	81
Figura 10-30: Horas de vuelo según violación MSA .....	82

Figura 10-31: Experiencia piloto.....	83
Figura 10-32:Entrenamientos vuelo y violación MSA .....	83
Figura 10-33:Entrenamientos DEA y violación MSA .....	84
Figura 10-34: Regresión logística 1.....	85
Figura 10-35: Regresión logística 2.....	86



## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 5-1: Variables del estudio .....	45
Tabla 8-1: Cronograma de Actividades .....	53
Tabla 9-1: Presupuesto .....	54
Tabla 10-1: Descripción demográfica y experiencia en vuelo de los pilotos.....	60
Tabla 10-2: Incidencia de SC en la población.....	61
Tabla 10-3: Caracterización del grupo que presento SD en la población.....	62
Tabla 10-4: Histogramas resultados tiempo de escaneo instrumentos registrados.....	64
Tabla 10-5: Descripción resultados tiempo de fijación registrados por el <i>Eye-Tracker</i> ...	67
Tabla 10-6: Diferencias tiempo de fijación instrumentos entre población Novatos Vs Expertos.....	71
Tabla 10-7: Exploración relación entre horas total vuelo y entrenamientos SD .....	82
Tabla 10-8: Exploración relación entre Horas totales de vuelo y entrenamientos SD y violación MSA .....	84



# Introducción

Los humanos y sus sentidos no han evolucionado para volar (Kowalczyk et al., 2016, p. 109). A pesar de la extraordinaria tasa de avances tecnológicos en las ciencias relacionadas con la aviación y el desarrollo de vehículos aéreos en los últimos 100 años, el piloto humano ostensiblemente sigue siendo la versión 1.0, evolucionó para una vida terrestre a 1 G dirigida hacia el centro de la Tierra (Gaydos et al., 2012, p. 744).

Como resultado la SD ha atestado la aviación desde su inicio, contribuyendo a la pérdida de numerosas vidas humanas, a la destrucción o daño de aeronaves y a la reducción de la eficacia de las misiones operacionales (Mumaw et al., 2016, p. 9) (Gaydos et al., 2012, p. 744). Esto debería haber originado el reconocimiento e interés que le corresponde en las diferentes instituciones militares y gubernamentales aeronáuticas y ante todo en las tripulaciones, llevando a tratar la desorientación espacial en vuelo como una disciplina integral que inicialmente ha requerido una estandarización de conceptos, definiciones y otras terminologías utilizadas por los estudiosos de SD para hacer posible la investigación y adquisición de conocimientos a probar en escenarios de entrenamiento y/o desarrollo de tecnologías (Previc et al., 2004) (Ercoline, 2016, p. 509) (Cheung & Hofer, 2003, p. 12) (Ziv, 2016, p. 99).

La desorientación espacial simboliza una frustración fisiológica en la preservación del sistema de orientación en vuelo y el abordaje para estas afecciones sigue teniendo resultados deficientes (Davis et al., 2008, p. 157), lo que con alta frecuencia ha derivado en múltiples críticas por parte de investigadores “los esfuerzos para mitigar la DS no han sido proporcionales al peligro que representa para los pilotos” (Gibb et al., 2011, p. 720). Realmente, la SD tal como se define en términos generales, constituye más del 25% de todos los accidentes letales de la aviación castrense USAF (Poisson & Miller, 2014, p. 921), mientras que en la aviación general de Norteamérica se atribuyen a SD el 2.1% de los accidentes en aviones y el 1.3% de los accidentes de helicópteros y un porcentaje aún mayor de 15% de incidentes entre los años 1983 a 1991 (Mortimer, 1995, p. 27),

particularmente afines con los factores humanos (Previc et al., 2004) (Neubauer, 2000, p. 33).

Una ilusión en vuelo, consecuencia de la mala interpretación del cerebro por información de los órganos del equilibrio, se convierte en desorientación espacial que puede tener consecuencias fatales para el piloto; Sin embargo, una sensación ilusoria por sí sola puede no significar un riesgo para la seguridad en la medida en que el piloto sea consciente de que la sensación es falsa (Ledegang & Groen, 2018, p. 880). Es imperativo entender las situaciones que pueden causar desorientación espacial y sus efectos; la demostración de ilusiones de vuelo por simuladores proporciona la formación preventiva necesaria para ayudar a reducir los accidentes aéreos resultantes de la desorientación espacial (Sazel et al., 2005) (Bles, 2008); el adoctrinamiento de los pilotos se configura como el primer paso importante en la lucha contra los accidentes por desorientación espacial mediante el entrenamiento, la experiencia y el conocimiento (Ercoline, 2016, p. 478).

Casi todas las tripulaciones experimentan sensaciones ilusorias de la actitud y el movimiento de la aeronave en algún momento de su carrera de vuelo (23–25). la incidencia de la SD en la carrera del piloto es del orden del 90 al 100 por ciento; visto de otra manera, los pilotos pueden ser considerados en uno de dos grupos: los que han sido desorientados, y los que lo serán. (Newman et al., 2007). Tales gajes del oficio son consecuencia de las características ilusorias dadas por particularidades en aeronaves, medio ambiente y las limitaciones de los mecanismos sensoriales (Rollin Stott et. al., 2016, pp. 295). Los investigadores concluyen entonces que ningún piloto ha sido ni será inmune a la SD. (Gibb et al., 2011, p. 720)(Gaydos et al., 2012, p. 744)

De igual manera, la mayoría de las situaciones de desorientación no se denuncian tanto en la aviación militar como la civil; en la generalidad de los casos, el aviador y la tripulación se recuperan de sentirse desorientados y no pasa más allá de un comentario de “vértigo”, nadie más que las tripulaciones saben, en términos de frecuencias de repetición de estas ilusiones, que la desorientación es habitual (Reinhart, 2007, pp. 1-3). Ante esta realidad recae la responsabilidad en el piloto comprometido con la seguridad operacional, de reportar estos incidentes de SD como manera de respetar esta realidad y continuar tomando medidas para evitar la desorientación. Debe obligatoriamente mantenerse

actualizado en capacidades de vuelo y conocedor de los factores que afectan a la orientación en las circunstancias propias del mismo, mediante ejercicios aéreos de planeo en actitud inusual o en un demostrador/simulador de desorientación espacial que le permita disminuir el poder disruptivo de este factor humano para conservar el dominio de la aeronave.

Otro detalle esencial es conocerse a sí mismo, tener conciencia de las debilidades humanas propias y percibir cómo puede cometer errores, especialmente bajo estrés. Haciendo uso de estas experiencias, la capacidad de reflexionar a través del vuelo de una forma precavida y el uso de técnicas que mitiguen las sensaciones en el caso de encontrarse bajo la SD, será la etiqueta de cualquier piloto preparado. Es fundamental advertir que aún el piloto mínimamente discapacitado fisiológicamente (fatigado, hipóxico, hipoglucémico, ansioso, automedicado etc.) aumenta considerablemente el riesgo de desorientarse porque disminuye la tolerancia a las señales confusas del cuerpo y afecta la capacidad para defenderse adecuadamente de estas, resultando en un desempeño lo suficientemente bajo para ocasionar un accidente o incidente aéreo (Reinhart, 2007) (Previc et al., 2004). Existen varios factores que pueden aumentar la susceptibilidad fisiológica de un piloto a la SD, incluyendo factores ambientales y psicológicos (la hipoxia, la ansiedad, la sobrecarga de tareas de cabina, y la cinetosis pueden interactuar de una manera altamente negativa). (Webb et al., 2010, p. 27) (Gresty & Golding, 2009, p. 264)

Por otra parte, mantener la orientación es un imperativo de los seres vivos. Cuando la orientación se ve amenazada, los recursos de atención se desvían para recuperar la orientación, posiblemente en detrimento de la atención que requieren las tareas concurrentes; Según el principio biológico de "la postura primero" (Kerr et al., 1985, p. 620)(Barra et al., 2006, p. 737), o mejor aún "la orientación espacial primero", sucede que cuando la orientación se ve coaccionada se provoca una respuesta que hace que los mecanismos de atención se enfoquen prioritariamente en recobrar la orientación, probablemente desatendiendo las demandas de las demás tareas del momento. Entonces, separando el impacto de por sí mismo de la SD en el control de la actitud de la aeronave, otro ingrediente para un accidente puede ser la repercusión de la SD en el rendimiento cognitivo. Esto se explica debido a que la orientación sintética o por instrumentos implica un procesamiento cortical consciente enorme que se ve superado por los impulsos sensoriales de la desorientación, que satisfacen así al imperativo de "la orientación primero", ocasionando el contraproducente abandono progresivo de las demás tareas de cabina, incluso de algunos instrumentos, resultando en la denominada "fijación o visión en

túnel”(Wickens, 2005, p. 813)(Regis et al., 2014, p. 330) al remitirse solo a una única fuente de información con exceso de tiempo, que conllevan a la toma de decisiones equivocadas y a un desenlace fatal. En este escenario, la facultad de un piloto de pensar para salir de un problema, incluso la interpretación de los mismos instrumentos o de las comunicaciones por radio, puede verse afectada (Webb et al., 2010, p. 27).

En el entrenamiento contra este principio de “la orientación primero” un piloto debe despreciar la sensación de giro (los sujetos aprenden rápidamente a poner en “cuarentena” esta “percepción novedosa” en las primeras experiencias de entrenamiento en SD (Petru & Frantis, 2015), y atender a la interpretación de los instrumentos de vuelo para recobrar el control de la aeronave, es decir, debe cambiar la prioridad de atender instintivamente la entrada sensorial, que consume considerable recurso de atención, por una tarea secundaria cognitiva para disipar y/o superar la SD. (Gresty & Golding, 2009, p. 264)

Existe una concertación mundial para las estrategias de prevención en SD centradas en cuatro pilares del entrenamiento fisiológico: Educación, formación, investigación y equipamiento. El entrenamiento fisiológico se considera el soporte más importante de las estrategias de prevención de la SD, que tienen como fin el desarrollo de contramedidas eficientes, reconocimiento y/o identificación (propios o en los demás tripulantes) de los efectos de la SD y el desarrollo de hábitos que pueden ayudar en la prevención de la misma.

El centro de medicina aeroespacial de la Fuerza Aérea Colombiana ha identificado la necesidad de instruir a sus tripulaciones en el área de fisiología de vuelo como contramedidas que incrementan la seguridad de vuelo durante ambientes extremos al que se podría exponer el piloto militar, por esta razón actualmente se realizan entrenamientos en el Desorientador Espacial Avanzado (DEA) GYRO II. La demostración de las ilusiones de vuelo proporciona el entrenamiento preventivo necesario para ayudar a reducir los accidentes aéreos resultantes de la desorientación espacial. Es conveniente incluir los ejemplos concretos de ilusiones de vuelo y sus efectos en el entrenamiento básico de pilotos en un demostrador/simulador de SD especialmente diseñado para tal fin. Allí se recrean diferentes condiciones visuales ambientales en la cabina y diferentes giros o movimientos, los cuales son programados y controlados por personal técnico y profesional fuera de este sin requerir un vuelo real, permitiéndole al estudiante piloto sentir y hacer consciente los cambios fisiológicos adversos por exposición a una serie de estímulos sobre el sistema vestibular y visual que ocasionan errores de percepción o ilusiones, para de

esta manera comprender algunos de los mecanismos fundamentales de la desorientación espacial.

Es esperable entonces que el entrenamiento presente individualmente diferencias marcadas en el manejo de la SD y que durante este entrenamiento los errores en las tareas cognitivas se presenten inicialmente durante las primeras experiencias mientras los sujetos aprenden rápidamente a poner en cuarentena o bajo control esta "sensación novedosa" desorientadora; sin embargo, lo más importante es que cada sujeto aprenda bajo manifestaciones de SD a dar prioridad a la tarea cognitiva de interpretación de instrumentos sobre la urgencias sensoriales primitivas de "la orientación primero" (Gresty & Golding, 2009, p. 264). Cuanto más frecuentemente un piloto reciba entrenamiento fisiológico, mejor será su capacidad de distinguir ilusiones irregulares y por lo tanto, estará más instruido sobre estos particulares durante las misiones aéreas (Boril et al., 2016, p. 3) (Gibb et al., 2010, pp. 1-3).

El presente trabajo de investigación se propone observar a pilotos militares expuestos al influjo del DEA bajo el perfil inclinaciones (la ilusión más frecuentemente experimentada por pilotos), para descubrir el comportamiento de patrones de mirada en instrumentos; así mismo contrastar que variables sociodemográficas operacionales como por ejemplo la experiencia (total horas de vuelo) se refleja en el mejor desempeño de patrón de escaneo de mirada sobre instrumentos como contramedidas para sortear los efectos de la SD, y estas a su vez se reflejen en correspondientes acciones que puedan o no llevar a la recuperación del control de la aeronave.





# 1.Planteamiento del Problema

Desde los albores del siglo 20, la desorientación espacial, por sus siglas en inglés “Spatial Disorientation” (SD), tiene sus raíces concomitantemente con el nacimiento de la aviación. Solo se vio como un problema hasta la llegada de la primera guerra mundial, donde la aviación militar en su papel protagónico en la disputa por dominar el espacio aéreo para alcanzar la supremacía introdujo aeronaves cada vez más veloces y de grandes desempeños que llevaron al hombre hasta su límite y menoscabo fisiológico. Desde entonces tendría que aprender a adaptarse, con ciertas ayudas, a un ambiente invariablemente más exigente propiciado por la industria militar. (Previc et al., 2004, pp. 1-3)

En este sentido y a pesar de los esfuerzos en investigación, desarrollo de tecnologías, y entrenamiento de tripulaciones con el fin de disminuir el efecto catastrófico de la SD en términos de pérdidas de tripulaciones y aeronaves, los resultados persisten frustrantes y desalentadores. (Previc et al., 2004, pp. 1-3) (Gibb et al., 2011, p. 720) (Cheung, 2013, p. 1213)

El hecho de que el piloto no perciba correctamente la orientación espacial de su aeronave siempre ha sido una dificultad, y no fue sino en el año de 1926 que se reconoció al entrenamiento fisiológico como un instrumento necesario para avanzar contra la SD. Fue el Capitán William Ocker quien durante un test sobre la silla de Baranny experimentó repetidamente y con respuestas siempre erróneas la ilusoria sensación del sentido del giro, que se conocería más tarde como la ilusión somatogírica. Posteriormente, mediante un artilugio de caja el cual llevaba el indicador “Sperry”, consiguió descifrar correctamente la verdadera dirección de giro, contraria a su propia sensación en el test de Baranny; esa demostración lo convenció de que no sólo el vuelo instrumental, sino también el entrenamiento para realizarlo, era esencial para los pilotos. (Previc et al., 2004, pp. 1-3)

Aunque han pasado más de 90 años desde que se reconoció por primera vez como homicida de pilotos, el problema no se ha eliminado en todos los tipos de aviación. En conferencias anuales de la Asociación Médica Aeroespacial (ASMA), las estadísticas e índices de accidentes militares son presentados cada año con cifras alarmantes, siendo la SD responsable de varios de los mayores accidentes de Clase A (Ercoline, 2016, p. 506). Varios investigadores además han sugerido, que los esfuerzos para mitigar la SD no han sido proporcionales al peligro que representa para los pilotos. (Gibb et al., 2011, p. 720)

La incidencia de accidentes relacionados con la SD en la aviación militar ha sido relativamente constante a lo largo de los años, representando alrededor del 25 al 30% de todos los accidentes fatales y presentando en sí mismos una mortalidad cercana al 100% (Gibb et al., 2011, p. 720). Así mismo, la SD ha sido identificada como un factor que contribuye a una serie de accidentes por pérdida de control, en la aviación comercial.

Los accidentes de la Fuerza Aérea de los estados Unidos relacionado con SD representan el 12% de los accidentes de Clase A, no obstante, representan más del 34% de los accidentes fatales, el 25% de las vidas perdidas, el 17% de los aviones perdidos y el 17% de las pérdidas monetarias de los accidentes de Clase A. La tasa de accidentes y fatalidades de clase A relacionados con la SD son consistentes con los reportados en estudios anteriores de la USAF (Poisson & Miller, 2014, p. 922).

Por su parte Bushby et al. (2018) argumentó que en el ala rotatoria del Reino Unido entre los años 2000 al 2015 la tasa global de accidentes fue de 2,32 accidentes por cada 100.000 horas de vuelo siendo reconocida la SD en 43% de los accidentes. (Powell-Dunford et al., 2016, p. 892)

Para Colombia los datos publicados en este tópico, mediante estudio de encuesta en los pilotos militares colombianos durante el 2003, se apreció que hasta un 67% de los pilotos de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) refirieron haber experimentado SD en vuelo y de estos un 95% en más de una oportunidad, especialmente en aeronaves de alto rendimiento, en vuelo nocturno y con ayudas de visión nocturna.

En otro estudio colombiano presentado en el 2010, donde seleccionaron de 388 accidentes ocurridos en 15 años, aparece la SD con el 1% de factor explicativo de la causa probable de accidente. Dato obtenido de informes preliminares y finales de los accidentes de aviación civil ocurridos en territorio Colombiano entre enero de 1995 y diciembre de 2009, fallados y firmados oficialmente para el mes de junio de 2010, por la oficina del Grupo de Investigación de Accidentes de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil UAEAC. (García Morales, 2010)

En resumen, el problema de Desorientación Espacial en el mundo y Colombia existe y ha causado accidentes de consecuencias fatales; por lo tanto, la pregunta histórica ante este hecho es: ¿Por qué, a pesar de tener las herramientas para contrarrestarlo y prevenirlo, persiste este problema? La comunidad de la aviación militar no ha sido capaz de proporcionar una solución para reducir los accidentes relacionados con el SD (Cheung, 2013, p. 1213), a pesar de tener ya el conocimiento de cómo prevenirlo. (Previc et al., 2004, pp. 1-3)

Este cuestionamiento inmediatamente relaciona el problema con la mejor solución disponible al día de hoy que es la adquisición de habilidades para reconocerla y corregirla (comprobación cruzada de instrumentos). Ambas situaciones se tratan universalmente en el entrenamiento de SD para pilotos, donde también se insiste que lo ideal es prevenirla. Williams y Johnson en (2010) "la única manera de salvar tu vida de un líder asesino de pilotos de caza es prevenirlo" (Gibb et al., 2011, p. 720) (Cheung, 2013, p. 1213) (Previc et al., 2004, pp. 1-3)

El simulador en SD ofrece un escenario controlado donde no se tiene pérdida de vidas o destrucción de material, entrando a ser el objeto a través del cual se puede evaluar los resultados de este entrenamiento, constatando primero si está bien adquirido o si lo implementa de manera correcta y, por consiguiente, si eso resulta en el control de la aeronave al final del ejercicio.

En síntesis, la pregunta específica que se quiere responder mediante el uso del DEA sería: ¿podría la persistencia de los eventos de Desorientación Espacial guardar una relación con la técnica de comprobación cruzada de instrumentos que se está implementado o hay otros factores asociados?



## 2. Justificación

La amenaza que representa la SD es el gran número de accidentes por desorientación con sus consecuentes fatalidades. La literatura científica ha mostrado con estudios soportados en investigaciones de accidentes que, aun cuando hoy día los pilotos cuentan con apoyo tecnológico en instrumentos (control y rendimiento) de gran precisión para ayudar a mantener la orientación y una mejor comprensión de la etiología de la SD, es evidente que las demandas extremas impuestas a los pilotos (dadas por condiciones ambientales adversas, requisitos de la misión y tipo de aeronave), exceden sus capacidades sensoriales-perceptuales-cognitivas humanas; y en algunos casos estas ayudas tecnológicas de visión también están implicadas en la SD. Pero lo más desafortunado es que la SD no es tratada como la grave y continua amenaza que realmente es, y se hace muy poco para mitigar el enorme impacto negativo en vidas y recursos que conlleva su complacencia. (Gibb et al., 2011, p. 720)

La Fuerza Aérea Colombiana en el desarrollo de su misión involucra en sus operaciones aeronaves de ala fija y rotatoria sobre una topografía exuberante con condiciones climáticas cambiantes y en vuelos nocturnos con apoyo de visores nocturnos, en consecuencia, sus tripulaciones están constantemente expuestas a una posible SD. Durante el 2003 se consideró que hasta un 67% de los pilotos de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) refirieron haber experimentado SD y de estos un 95% en más de una oportunidad, especialmente en aeronaves de alto rendimiento, en vuelo nocturno y con ayudas de visión nocturna (Sánchez Rubio, L. M. 2005). La estadística es similar en otras fuerzas aéreas de países de occidente según revisiones de información publicadas a finales del siglo XX donde "Dunford (1992), realizó el cuestionario sobre las experiencias de SD entre los aviadores del Ejército en el Reino Unido documentando que el 10% reportó que nunca habían estado desorientados, el 83% reportó al menos un episodio menor, el 56% había experimentado al menos un episodio significativo, y el 24% un episodio severo a lo largo de toda su carrera" (Holmes et al., 2003, p. 964).

Para esa misma época de finales de siglo XX, los investigadores Braithwaite, Groh y Álvarez (1997) buscaron en los resúmenes de accidentes en el Ejército Norteamericano entre 1987 y 1995 y encontraron aproximadamente 900 accidentes de helicópteros; en esta serie, el 30% los accidentes correspondían o implicaban la SD. Otro dato importante encontrado en este estudio fue el costo medio de los accidentes atribuidos a la SD que fue representativamente mayor que el costo medio de los accidentes no relacionados con la SD, tanto en términos monetarios como de fatalidades. Cinco años más tarde otro estudio en la fuerza aérea del mismo país reveló datos similares estadísticos de SD en los accidentes de ala rotatoria; según Matthews, Previc y Bunting (2003) se encontró una incidencia del 27% de SD entre todos los accidentes de helicópteros en la USAF (Holmes et al., 2003, p. 964)

Los simuladores/demostradores de SD avanzados sirven para realizar entrenamiento seguros en tierra en un esfuerzo por ofrecer más interacción, realismo y transferencia al vuelo; ejemplo de esto fue la calidad y eficiencia del aprendizaje en SD demostrada por parte de los alumnos de la escuela de helicópteros del Reino Unido entrenados en simuladores de SD en comparación con los alumnos controles ( $P= 0,01$ ), con una tendencia a la disminución de vuelo controlado contra el terreno (CFIT), por sus siglas en inglés. (Powell-Dunford et al., 2016, p. 892) Es imperativo entender las situaciones que pueden causar SD y sus consecuencias; la demostración de ilusiones de vuelo por simuladores proporciona la formación preventiva necesaria para ayudar a reducir los accidentes aéreos resultantes de la desorientación espacial (15) (Bles, 2008, pp. 1-3); el adoctrinamiento de los pilotos se configura como el primer paso importante en la lucha contra los accidentes por SD mediante el entrenamiento, la experiencia y el conocimiento (Ercoline, 2016, p. 506).

En síntesis, el panorama mundial de la aviación militar está atestado por esta frustración fisiológica que contribuye a casi el 33% de todos los percances con una tasa de mortalidad de casi el 100%. Sumado a esto, la SD no ha ganado el respeto y la conciencia que se precisa por parte de los dirigentes y aviadores, debido a la falta de información de los datos de investigación en la SD y a la estadística históricamente desacertada en las investigaciones de accidentes. Ante todo esto, una de las propuestas de importantes investigadores en la materia a los líderes del mundo, es básicamente inversión en recursos relacionados con la formación: primero para la investigación dentro la formación de SD y

segundo, la compra de simuladores para la formación en SD (tanto en la formación inicial como en la formación de actualización) (Gibb et al., 2011, p. 720). Este proyecto de investigación se alinearán con lo primero.

La FAC siguiendo estas pautas ha dispuesto en la Dirección de Medicina Aeroespacial (DIMAE), dentro del laboratorio de desorientación, el Desorientador Espacial Avanzado GYRO IPT II (DEA), que es un equipo de entrenamiento fisiológico integrado que proporciona la simulación de vuelo visual y de movimiento necesarios para inducir la falsas sensaciones que desencadenen los diferentes tipos de SD, buscando incrementar la sensibilización y experiencia en reconocimiento de SD a sus tripulaciones. Así mismo pretende mediante un aprendizaje pre-asociativo con estos estímulos, como mecanismo que se enfoca en el proceso de resistencia y habituación que disminuirán la degradación del rendimiento cognitivo que sufre el piloto como consecuencia de la SD.

La FAC como institución formadora de pilotos militares, debe evaluar en qué condiciones está nuestro piloto en ese tipo de escenarios de limitación fisiológica, si el entrenamiento realmente está quedando consolidado y si sus capacidades adquiridas se traducen en el control de la aeronave cuando se lo expone a la desorientación espacial de manera simulada en el DEA. Esto se puede hacer mediante la monitorización de las habilidades del piloto como patrón de escaneo y fijación de mirada en instrumentos, que se muestran consistentemente durante el período de desorientación en pro de conservar el control de la aeronave. Proporcionando de esta manera con estos datos optimizar el programa de entrenamiento en desorientación espacial

Como segunda intención el estudio pretende encontrar valores actualizados de prevalencia de SD en una población expuesta constantemente a esta entidad por lo demás de carácter o factor humano, con el fin de ofrecer datos actualizados con población fenotípica y genotípicamente colombiana que puedan ser de apoyo para futuros estudios en esta población de interés y puedan proponer mejoras en el programa de entrenamiento en SD. Con todo lo anterior se aporta a la seguridad aérea en Colombia, quien se encuentra analizando la posibilidad de incorporar nuevas plataformas de vuelo de alto desempeño para la seguridad nacional, que serían confiados a la Fuerza Aérea Colombiana de quien se espera siempre el buen uso y cuidado de estos recursos importantes de la nación.





## **3.Estado del Arte**

### **3.1 Concepto General**

El Sentido de la orientación involucra una interpretación de la ubicación en relación con nuestro entorno (Newman et al., 2007) (Kerr et al., 1985, p. 620). La orientación humana en gran proporción depende de dos marcos de referencia, el primero de ellos basado en nuestro entorno ofrece un marco de referencia visual predominantemente terrestre de arriba abajo; y en segundo lugar está la constante fuerza de gravedad, tanto en términos de intensidad como de dirección, que proporciona un marco propioceptivo de ubicación de esta fuerza. (Rollin Stott et. al., 2016, pp. 295) (Reinhart, 2007, pp. 1-3)

La orientación la clasifican en primaria o natural, basada en sensaciones visuales ambientales, vestibulares u otras que regularmente favorecen a nuestra orientación en nuestro entorno natural; y en secundaria o sintética, que se crea intelectualmente a partir de datos visuales focales, verbales u otros datos simbólicos, como los que presentan los instrumentos de la aeronave. Si bien el primer tipo de orientación es fundamentalmente irracional (no sometido a análisis y deducción) e involucra en gran medida un proceso mental preconsciente, el segundo tipo es racional y consciente demandante de análisis cognitivo. (Previc et al., 2004, pp. 1-3)

Una ilusión es una impresión falsa o un juicio erróneo con respecto a las circunstancias reales, lo que fomenta y mantiene el realismo ingenuo; Ser consciente de una ilusión requiere una apreciación simultánea del engaño y la realidad (Rollin Stott et. al., 2016, pp. 295)(Gibb et al., 2010, pp. 1-3). Un piloto puede ser consciente de una ilusión sin estar necesariamente desorientado, incluso se podría argumentar que una vez que un piloto desorientado se da cuenta de la ilusión, ya no está desorientado (Rollin Stott et. al., 2016, pp. 295). Las ilusiones visuales son quizás las causas más frecuentes y engañosas productoras de la SD y de accidentes de aviación (13,(Lyons et al., 2006, p. 721). Nuestra

mente repetidamente lidia por interpretar correctamente las cosas que percibimos, y la interpretación puede ser afectada por nuestras experiencias previas y nuestras deficiencias sensoriales (Ercoline, 2016, p. 506)(Gibb et al., 2010, pp. 1-3). Sin embargo, la visión no es el único mecanismo de percepción, porque el cerebro también recibe señales de los sistemas de propiocepción y vestibulares, que informan al individuo si está de pie, acostado, en movimiento lineal o rotacional etc. (Reinhart, 2007, pp. 1-3). Estas señales pueden ser engañosas en un entorno de vuelo complejo y dinámico, y aún más en un entorno visualmente degradado. (Ercoline, 2016, p. 506) (Rollin Stott et al., 2016, pp. 295)

Si la orientación consiste en conocer la relación de uno con un lugar particular en el espacio, entonces la SD trata con las percepciones erróneas por parte del cerebro de las señales espaciales que conducen a una pérdida de orientación en ese espacio dado (Ercoline, 2016, p. 506). Una declaración bastante simplista dada por la FAA en 1983 fue "desorientación espacial de un piloto significa simplemente la incapacidad de decir qué vía lleva "hacia arriba"(Newman et al., 2007).

## **3.2 Historia**

La desorientación espacial es un campo de investigación relativamente adelantado que se ha ido perfeccionado desde el nacimiento de la aviación en el siglo pasado. Aunque los trabajos en laboratorio de Mach y demás investigadores recrearon las bases del conocimiento sobre las causas de algunas ilusiones de la SD en el entorno de la aviación, fue hasta sólo después de la Primera Guerra Mundial que se investigó en profundidad como respuesta al gran número de víctimas que ocasiono ella y no el enemigo. En las décadas de 1920 y 1930 con el desarrollo de instrumentos análogos de vuelo y posteriormente la creación de cursos de entrenamiento en vuelo por instrumentos, hicieron posible poco a poco el vuelo seguro en condiciones meteorológicas adversas. Finalizando la Segunda Guerra Mundial con la participación de aviones jet de gran desempeño, se incrementó el reto fisiológico que promovió una propagación constante del conocimiento ante un adversario en común. Por consiguiente, se dio pie al desarrollo de investigaciones en diferentes aristas, presentando un pico importante de estas en la década de los 90s, contribuyendo al avance en muchos de los conceptos, definiciones y otras terminologías utilizadas por los investigadores de SD (Previc et al., 2004, pp. 1-3).

Las iniciativas para el uso de instrumentos de control y rendimiento como facilitadores de contramedidas a los efectos de la SD en vuelo, se instituyeron en los años sesenta y setenta como una disciplina obligatoria con un entrenamiento integral tanto en tierra como en vuelo para los pilotos de combate. El progreso de esta disciplina sigue fundamentándose en los cientos de estudios publicados que forman parte de diferentes líneas de investigación apoyados con el avance tecnológico en instrumentos, dispositivos sensoriales, vuelos simulados y estudios fisiológicos en ambientes aeroespaciales y por supuesto en los lamentables incidentes o accidentes que aún siguen presentándose. Con todo lo anterior, esta disciplina persigue incrementar la seguridad operacional mientras persista la SD y sus efectos fatales a través del factor humano en la cabina de mando de un avión. (Previc et al., 2004, pp. 1-3)

### 3.3 Porqué del Problema

La Desorientación Espacial (SD), el fenómeno de que el piloto no está consciente de la orientación real de la aeronave con respecto a la tierra, sigue siendo un factor importante en los accidentes aéreos. Con la sucinta descripción general de la incidencia de los accidentes de clase A relacionados con la SD señaladas anteriormente, se evidencia claramente que la SD es una de las trascendentales causas de accidentes aéreos de clase A con un número respectivamente elevado de víctimas letales en aviones de ala fija. ¿Por qué la comunidad de la aviación militar no ha sido capaz de proporcionar una solución para reducir los accidentes relacionados con el SD? (Cheung, 2013, p. 1213).

Un grupo de trabajo TG 039 OTAN, ha encontrado algunas circunstancias detrás del problema en la lucha contra la SD: Por un lado, los datos de accidentes de SD de distintos países son complejos, ya que demanda conocimientos sobre el número de horas de vuelo, el tipo de aeronave, ala fija o rotatoria, el teatro, etc., datos con los que no se cuentan fácilmente, sin contar con la clasificación de la SD aplicada, que puede diferir de un país a otro. Al mismo tiempo en el frente de entrenamiento, está claro que demostrar y entrenar a pilotos (estudiantes) sobre las causas y consecuencias de la SD es una asignatura común en la mayoría de las fuerzas militares; no obstante, hay pocos procedimientos de capacitación y demostradores estandarizados, pues resulta que los procedimientos de capacitación son diferentes como también lo son los capacitadores/demostradores. Por

consiguiente, sería esperado requerir al menos un nivel mínimo de experiencia del aeronauta a este respecto bajo un programa de capacitación estandarizado, al igual que instructores certificados en institución de trayectoria y de investigación, con las calificaciones mínimas para la capacitación sostenible, que hagan posible implementar un programa de entrenamiento en SD eficiente. (Bles, 2008, pp. 1-3) (Gibb et al., 2011, p. 720)(Kerr et al., 1985, p. 620)

A pesar de los esfuerzos agresivos en la investigación de la SD, el desarrollo de hardware y en la formación, el impacto operativo de la SD en términos de pérdidas de tripulaciones y aeronaves sigue siendo significativo (Previc et al., 2004, pp. 1-3) (Cheung, 2013, p. 1213). La magnitud del problema causado por esta limitación humana está en los datos de prevalencia de accidentalidad que reportaron a final del siglo XX los diferentes estudios en diversas fuerzas militares de todo el mundo encontrado que la SD representaba entre el 6% y el 32% de los accidentes graves y entre el 15% y el 69% de los accidentes mortales. El dato más reciente de la USAF en el 2013 mostro que los accidentes de clase A por SD sólo representan el 12,0% de todos los accidentes clase A, y a estos se les reconoce que produjeron el 34,1% de los accidentes mortales. En el entorno de la aviación civil los datos de incidencia son menos usuales y los resultados fueron la SD como una causa principal o un factor contribuyente en el 2,5% de todos los accidentes y además que, la SD fue una causa o factor en el 16% de todos los accidentes fatales (Nooij & Groen, 2011, p. 507) (Kowalczyk et al., 2016, p. 111) (Wickens, 2005, p. 813).

Cualquier intento de reducir el número de incidentes y accidentes atribuibles a la desorientación espacial debe centrarse en la formación de la tripulación y en el desarrollo de nuevos sistemas de aeronaves para mantener informado al piloto sobre la actitud y la posición de la aeronave en presencia de otras demandas competitivas. (Ercoline, 2016, p. 506)(Powell-Dunford et al., 2016, p. 892)(Previc et al., 2004, pp. 1-3).

Se han concentrado esfuerzos significativos en la reproducción de varios tipos de "ilusiones" visuales y vestibulares que los pilotos pueden encontrar en vuelo, con un éxito limitado y variable por la incapacidad de los dispositivos terrestres para reproducir la envolvente de vuelo. (Cheung, 2013, p. 1213)

La Junta Nacional de Seguridad en el Transporte identificó 125 accidentes aéreos entre 2000 y 2006 en los que el SD fue el factor principal sugiriendo que los esfuerzos continuos

para educar a los pilotos sobre el SD y el peligro que representa han sido en vano. Afortunadamente, el número total de accidentes graves y el número de accidentes graves por millón de horas de vuelo han disminuido considerablemente durante el mismo período (al menos en los Estados Unidos), por lo que parece que estos esfuerzos educativos sobre la seguridad en el vuelo han sido parcialmente eficaces. (Previc et al., 2004, pp. 1-3)

### **3.4 Definición Ampliada y Fisiológica**

Para “A. Benson (1974), la desorientación espacial es un término utilizado para describir una variedad de incidentes ocurridos en vuelo en los que el piloto no percibe correctamente la posición, el movimiento o la actitud de la aeronave o de sí mismo dentro del sistema de coordenadas fijo, suministrado por la superficie de la Tierra y la vertical gravitacional. Además puede incluirse dentro de una definición más amplia de la desorientación espacial en vuelo, a los errores en la percepción por parte de los pilotos de su posición, el movimiento o la actitud con respecto a su aeronave, o de su propia aeronave en relación con otras aeronaves”. (Ercoline, 2016, p. 506) (Rollin Stott et. al., 2016, pp. 295) (Gibb et al., 2010).

Operacionalmente hablando, es el desacople del piloto y aeronave, es decir cuando se siente diferente a lo que indican los instrumentos de control (pantallas de actitud y potencia del motor/impulso) y rendimiento (altitud, velocidad, rumbo, velocidad vertical, aceleración, ángulo de ataque e indicadores de viraje y deslizamiento).

Fisiológicamente hablando la desorientación espacial (SD) es debida a la condición que se presenta cuando la información que llega al sistema nerviosos central a través de los diferentes sensores periféricos, no es percibida, o no es congruente entre sí o sencillamente es confusa, ocasionando una interpretación contradictoria de dicha información por parte del cerebro que deriva en la falsa percepción de la orientación o la recreación de una ilusión sensorial (Ercoline, 2016, p. 506). También describen que la causa fundamental de la SD es una retroalimentación inadecuada (inadvertida o ambigua) de los sistemas sensoriales humanos involucrados en la orientación espacial, principalmente el sistema vestibular y visual (Ledegang & Groen, 2018, p. 876) (Previc et al., 2004, pp. 1-3). En otras palabras, la coordinación compleja entre estas entradas sensoriales es luego traducida e interpretada por el cerebro; donde puede ocurrir que la mala interpretación o la inexactitud de los sensores periféricos o fuentes de información

puede conducir a una "falta de coincidencia sensorial", lo que resulta en una variedad de ilusiones visuales o vestibulares que predisponen a la desorientación espacial (Meeks et al., 2020).

Psicológicamente hablando se ha definido como la mala interpretación de una experiencia de percepción sensorial, especialmente visual, donde los estímulos están objetivamente presentes y la percepción errónea se debe a causas físicas más que psicológicas (Stott, 2013, p. 4).

Existen algunos factores trascendentales que acrecientan la presentación de desorientación espacial en el contexto de vuelo. Estos pueden limitarse a tres principios esenciales:

Primero, el ámbito visual externo puede ser distante, mermado por la niebla o la oscuridad o totalmente ocultado por las nubes (ambiente deteriorado). Segundo la aerodinámica del avión origina una sensación de la fuerza de gravedad que durante la mayor parte del tiempo obra perpendicularmente a través del suelo de la aeronave y no da al piloto ninguna indicación de la verdadera actitud del aeroplano en relación a la vertical gravitacional de la tierra, ya sea en balanceo o en cabeceo (ilusión propioceptiva). Tercero, las rotaciones que provocan una alteración de actitud o de rumbo de la aeronave y que no alcanzan a detectarse fielmente si son de baja intensidad o prolongadas (ilusiones vestibulares). (Rollin Stott et al., 2016, pp. 295)

Los pilotos dependen de sus sistemas visuales, vestibulares y propioceptivos para obtener información de orientación durante el vuelo. Cuando se vuela, la obtención y el mantenimiento de la orientación espacial se logra predominantemente mediante el sistema visual. Sin embargo, las ilusiones visuales y los juicios erróneos han sido citados como la causa probable de numerosos accidentes de aviación, y a pesar de los esfuerzos tecnológicos e instructivos para remediar algunos de los problemas asociados con la percepción visual en la aviación, continúan ocurriendo accidentes de este tipo. Claramente, comprender el papel de la percepción visual en la aviación es clave para mejorar el rendimiento de los pilotos y reducir los accidentes de aviación (Wickens, 2005, p. 813).

Para mantener nuestro sentido del equilibrio, la entrada de múltiples receptores ubicados en todo el cuerpo debe recibirse e integrarse continuamente. El mantenimiento postural y

la percepción del movimiento propio se basan en la estimulación simultánea de los sistemas visual, vestibular y propioceptivo (Gibb et al., 2010, pp. 1-3),(Gibb et al., 2010, pp. 1-3). Sin embargo, cuando el hombre es sometido a los complejos movimientos y fuerzas involucradas en el vuelo, los órganos del equilibrio se vuelven menos efectivos para proporcionar información significativa al cerebro. Tales errores o malas interpretaciones son el soporte sobre el que se producen las ilusiones, y en un sentido más global, la desorientación espacial es a menudo la consecuencia. (Ercoline, 2016, p. 506)

### **3.4.1 Funciones de los Sistemas del Equilibrio**

El sistema visual: De los tres sistemas sensoriales, la visión es con mucho, el más importante y fiable en el vuelo; Ciertamente le han establecido hasta el 80% de las señales utilizables para la orientación resultan de la visión (Ercoline, 2016, p. 750) (Peißl et al., 2018, p. 104). La agudeza visual resulta principalmente de la visión central (fóvea), y la visión periférica (ambiente) refuerza la posición concebida en el espacio, esencialmente cuando se está en movimiento. A esta última se le atribuye una transmisión de señales visuales de la posición del cuerpo al cerebro cercana al 90% de la orientación en una posición cambiante; y esto es verificable cuando se aprecia el conflicto potencial del piloto navegando en las condiciones IFR, donde su visión central se emplea para leer los instrumentos y prácticamente se queda abolidas las señales de su visión periférica para percibir su orientación en el espacio. Esta disrupción se ve acrecentada cuando el piloto está disminuido fisiológicamente, perdiendo su tolerancia a la supresión de las entradas de la visión periférica generando sensaciones espaciales conflictivas (Reinhart, 2007, pp. 1-3).

Algunos ambientes que imprimen limitaciones al sistema visual como por ejemplo: en altas altitudes, la densidad en el ambiente no es suficiente para un juicio preciso de los valores o en pequeños cambios de las dimensiones básicas de orientación como la altitud, la velocidad del aire o el rumbo; del mismo modo, ocurre en las condiciones meteorológicas instrumentales (IMC), la correlación visual del entorno fuera de la aeronave se oscurece aún más, características como el horizonte natural y el terreno seguramente no estén utilizables. La orientación adecuada a estas situaciones sólo puede ser mantenida por referencia a los instrumentos de vuelo; el piloto debe hacer la transición a los instrumentos de vuelo para mantener el conocimiento del estado de la aeronave. Estos instrumentos, son la única contramedida conocida para la SD. Esta integración es conocida por los pilotos

como la "comprobación cruzada de instrumentos". Cualquiera cosa que dificulte la comprobación cruzada de instrumentos del piloto puede llevar al piloto a SD. (Ercoline, 2016, p. 750)

Sistema vestibular: De todas las entradas sensoriales de orientación, el componente vestibular muestra la menor conciencia, sin embargo, su control subconsciente, la coordinación de los movimientos oculares, las entradas y correcciones posturales, y las respuestas motoras a los cambios en la cabeza y la posición del cuerpo son críticas para mantener un centro de gravedad relativamente estable en relación con el suelo, mientras se está en un entorno dinámico como caminar, correr e incluso sentarse en una silla (Ryan., 2016, p. 104).

El sistema vestibular es el órgano sensorial que detecta simultáneamente el movimiento y la gravedad. Se localiza en el hueso temporal a cada lado de la cabeza en conjunto con el oído interno. Cada aparato vestibular consta de dos estructuras distintas, el vestíbulo propiamente dicho y los canales semicirculares; el vestíbulo responde a los cambios en la aceleración lineal y la gravedad, mientras que los canales semicirculares responden a la aceleración angular. En otras palabras, estos órganos no responden a la velocidad constante, sino a los cambios en la velocidad de movimiento (es decir, arranques y paradas), y esto es una gran insuficiencia del sistema vestibular en el medio aeronáutico (Dreibelbis & Organ, 2018, p. 925). Sus tres principales funciones para mantener el equilibrio y la orientación son:

Ayudar a maximizar la efectividad del sistema visual al facilitar una base estructural y funcional para los reflejos que estabilizan la visión, sin esta entrada, la imagen en la retina se difuminaría con cualquier movimiento de la cabeza. En segundo término, entrega la información orientativa necesaria para llevar a cabo la realización de actividades motrices fina o gruesa que se proporciona a varios núcleos cerebelosos y centros cerebrales. Y por último, en ausencia de visión, el sistema vestibular suministra una percepción razonablemente detallada del movimiento y la posición. (Previc et al., 2004, pp. 1-3)

Los órganos oolíticos (utrículo y sáculo) responden a cambios en el movimiento conocidos como aceleraciones; el aporte del otolito en vuelo es a menudo un vector resultante que contiene tanto la atracción gravitatoria de la tierra como las aceleraciones lineales generada por el movimiento del avión. Los canales semicirculares, responden



principalmente a aceleraciones angulares más que a aceleraciones lineales: Es una serie de tres tubos cerrados llenos de un líquido llamado endolinfa y están dispuestos en tres planos perpendiculares casi iguales, puesto que cada canal se encuentra en un plano diferente, pueden sentir la rotación en tres dimensiones alabeo, cabeceo y guiñada.

El sistema vestibular, en conjunto con los otros sistemas de la orientación, se desempeña bien para conservar al piloto "equilibrado" con la totalidad del mundo; no obstante, cuando se supeditan a las variables de las distintas fuerzas del vuelo sobre el cuerpo, estas fuentes no trabajan de una manera a la que el cuerpo y la mente están habituados y suministran al piloto información falsa. La señal más fuerte de desorientación procede de un sistema vestibular que está transmitiendo señales contradictorias en comparación con las señales propioceptivas y la realidad, lo que deriva en percepciones erróneas y contraproducentes para el piloto.(Ercoline, 2016, p. 506)(Reinhart, 2007, pp. 1-3)

El sistema propioceptivo: Juega un papel de apoyo, que permiten al individuo determinar la posición del cuerpo y su movimiento en el espacio (Dreibelbis & Organ, 2018, p. 925). Los receptores de presión subcutánea y los sensores de actividad muscular quinesia son trascendentales para la representación de la orientación corporal, ellos generalmente no orientan a los sujetos hacia su entorno, sino que les informa sobre el movimiento relativo y la posición relativa de sus partes del cuerpo. El cerebro interpreta estas señales como si estuvieran arriba o abajo, en relación con la Tierra y su atracción gravitatoria, esto a su vez determina nuestra postura (nuestra posición con respecto al suelo). Paralelamente, otros sensores propioceptivos dentro de nuestra piel, tendones y articulaciones detectan cambios en la posición relativa, la presión y los cambios de la postura ascendente o descendente. Si la información recibida de estos sistemas entra en conflicto, pueden surgir ilusiones y los resultados conocidos de la SD. La conclusión es que las señales vestibulares y propioceptivas que proporcionan información estable y fiable sobre el terreno se vuelven erráticas y engañosas en vuelo. El piloto debe aprender a suprimir estas señales naturales y confiar en los instrumentos que se muestran en la cabina. (Ercoline, 2016, p. 506)(Ryan., 2016, p. 104)(Cheung, 2017, p. 45)

### **3.5 Clasificación de la SD**

Los investigadores clasifican la SD en la aviación en tres tipos: Tipo I (no reconocido), Tipo II (reconocido) y Tipo III incapacitante. (Previc et al., 2004, pp. 1-3) (Ercoline, 2016, p. 506) (Previc et al., 2004, pp. 1-3)

Cuando los pilotos experimentan desorientación de Tipo I, no son conscientes de que están desorientados y sienten que la aeronave está respondiendo bien a los controles. Muchos accidentes son el resultado de la desorientación de tipo I. El Tipo II SD se caracteriza por el conocimiento consciente del piloto de algunas señales de orientación conflictivas. El piloto es consciente de que algo anda mal pero todavía puede controlar la aeronave o elegir transferir los controles a otro piloto. Sólo una minoría de los percances de SD se acredita al Tipo II. Finalmente, el SD Tipo III es el más debilitante pero menos comprendido. Con la desorientación Tipo III, los pilotos son conscientes de que están desorientados; sin embargo, a menudo están tan confundidos que se hacen ajustes incorrectos de vuelo y poco se puede hacer para recuperarse. Los pilotos pueden estar tan incapacitados y temerosos que se congelan en los controles. La desorientación de tipo III es muy rara. (Previc et al., 2004, pp. 1-3).

### **3.6 Entrenamiento en Desorientación Espacial**

La instrucción que se entrega en vuelo al piloto para combatir la SD son las contramedidas, inicialmente en tierra se enseña el conocimiento de las causas y como prevenirlo, pero el objetivo es como sobreponerse en caso de que le suceda, pues está probado que siempre afrontará esta respuesta fisiológica de frente a las diferentes aceleraciones, velocidades y en el ambiente aéreo en condiciones adversas; por lo cual las capacitaciones ante esta respuesta fisiológica incongruente se dan siempre al principio de la línea del tiempo de la carrera del aviador haciéndose énfasis en las causas y las contramedidas.(Ercoline, 2016, p. 750)

Se tiene por antecedente en 1875 al físico Dr. Ernst Mach pionero investigador con pruebas de laboratorio sobre la percepción del movimientos y la orientación según las partículas suspendidas en fluidos que fueron derivadas de sus observaciones durante virajes en ferrocarril y sus propias sensaciones de movimiento, que años más tarde las complementara en sus experimentos en la silla de Baranny en combinación con un cilindro

rayado rotatorio para examinar efectos del sistema visual sobre el vestibular tal vez fue el primero en descubrir los resultados de la interacción visual-vestibular de la orientación espacial dinámica.(Ercoline, 2016, p. 750)

Para la época en que surgió el avión y sobrevino la primera guerra mundial, la comprensión del sistema vestibular estaba bastante bien estudiado, pero nadie vinculó estas percepciones del movimiento a lo que sucedería mientras ocurrían accidentes aéreos. (Ercoline, 2016, p. 750)

Bill Ocker comparte también el mérito a descubridor del primer “demostrador/entrenador” de la SD, ocurrió en 1926 cuando este joven piloto del Ejército de los Estados Unidos, posterior a su examen médico acepto ser parte de un estudio por parte del Dr. David Myers quien usando la silla de Baranny y tapando los ojos de los pilotos demostraba que ninguno de ellos sabía en qué dirección estaba girando, esto repetitiva incorrecta percepción reto a creatividad de Ocker y creo un artilugio consistente en una caja de madera por uno de sus lados introducía su cabeza y por el lado opuesto instalo un indicador de giro de poco uso por los pilotos en el vuelo, y también adeció dentro una linterna para observar la dirección del indicador de giro al cual le adapto un tubo para poder soplarlo y hacerlo funcionar; con todo esto se presentó nuevamente ante el Dr. Myers y en esta ocasión en todas las pruebas acertó correctamente; Ocker solo reportaba lo que le decía el indicador de giro y no lo que sentía en su cuerpo. A pesar de que su invento no tenía la aceptación de muchos pilotos este fue conocido como Ocker Box, se convirtió en una parte rutinaria del currículo escolar en la escuela de medicina de aviación. (Ercoline, 2016, p. 750)

Con el avance de los años aparecieron más demostradores de SD, estos progresaron con una diversidad de diseños, pero todos tenían un componente similar: Todos tenían el movimiento de rotación continua que reproducía la silla Baranny; no tenían la misma relevancia que los simuladores de vuelo y eran solo utilizados por la comunidad médica como herramienta de entrenamiento en tierra y siguió una línea paralela a los simuladores de vuelo siempre en consolas lo más parecidas a los aviones para ganarse la aceptación de los pilotos que incrédulamente no aceptaban el entrenamiento en tierra para SD hasta que debido a todos los accidentes y muchos asociados con percepciones erróneas se convirtió en parte del programa de capacitación para pilotos especializados. El conjunto de tecnología consiguió la adquisición de pantallas y sistemas de movimiento en varios ejes,

ejemplo de este desarrollo es el Entrenador y/o Demostrador de Desorientación Espacial Avanzada (ASDT/ASDD) a finales del siglo XX que reprodujo las señales de movimiento esenciales para varias de las ilusiones vestibulares y gran parte de las ilusiones visuales, la necesidad de un dispositivo de este tipo se redujo a medida que bajaba la cantidad de infortunios afines con la SD , habiendo sido retirado en su totalidad en el 2004. (Ercoline, 2016, p. 750)

Sin embargo, la USAF siempre quería otras alternativas a entrenadores en SD, algo más realístico y similar al ambiente envolvente del vuelo; para la comunidad médica este interés en el área fisiológica cambió un poco, pero siempre había sobrado interés después de un accidente de SD. Es entonces que en el 2015 la USAF comenzó a impartir capacitación en desorientación espacial avanzada a los candidatos a piloto, con la inclusión de dispositivos altamente desarrollados lo que podría decirse en la plataforma de moción más integral del mundo, diseñada específicamente para estudiar las causas y contramedidas de la SD. El dispositivo fue hecho por Environmental Tectonics Corporation (ETC) llamado Simulador De Vuelo De Desorientación Espacial GYRO IPT II™ (Integrated Physiological Trainer) y fue entregado a las bases de entrenamiento de pilotos. Asociado con las exposiciones en clase, las exhibiciones de sillas Bárány y las demostraciones en vuelo de SD, el GYRO IPT II™ respaldará los requisitos de entrenamiento en SD en el programa de formación de pilotos afrontando a cada estudiante a las ilusiones vestibulares y visuales características de la aviación, facultándolo para reconocer, confirmar, prevenir y recuperarse de la SD antes de que se unan a una aeronave. El GYRO IPT II™ instaurará una base sólida de reconocimiento y recuperación de las ilusiones en el primer pasaje de aprendizaje en la preparación del piloto, lo que finalmente llevará a un incremento de la seguridad mientras que el piloto progresa hacia otros equipos de vuelo. En contraste de los sencillos demostradores de desorientación, un piloto en el GYRO IPT II™ posee un completo control de la simulación en giro cerrado antes, durante y después de la ilusión; en tanto que está en control de un vuelo simulado, el piloto podrá experimentar más de 25 ilusiones desorientadoras que se podrán seleccionar según dispongan. Esta capacidad crea un escenario de ejercicio de vuelo completamente interactivo en el que el piloto debe conservar el control del simulador y superar la ilusión evitando así un desenlace fallido durante el entrenamiento en SD. (Ercoline, 2016, p. 750)

Un Entrenador Fisiológico Integrado (GYRO-IPT II), es un método de entrenamiento interactivo (un sistema de comunicación visual unidireccional y un sistema de audio bidireccional permiten que el sujeto interactúe con el instructor y que éste monitoree continuamente al sujeto) y multifuncional adecuadamente flexible para cumplir todas las exigencias de entrenamiento de pilotos, desde novatos hasta expertos. El sistema consiste en una cabina de un solo asiento montada sobre una sofisticada plataforma móvil. La cabina basada en configuración del avión de entrenamiento Beechcraft T-6A Texan II, junto con el software de vuelo, está configurada de forma que pueda demostrar los parámetros de vuelo por instrumentos. La cabina está equipada con un asiento piloto con cinturones y arneses, sistema interactivo de control de retroalimentación, sistema de visualización (tres grandes pantallas montadas en la parte delantera de la cabina para formar una pantalla panorámica, donde los escenarios reproducidos por ordenador también pueden ser manipulados desde la consola de control para producir todas las capacidades de IFR, incluyendo la simulación de la baja visibilidad, la nubosidad y la hora del día), tablero de instrumentos y distribución realista del sonido. Todo el sistema del simulador se controla desde la estación de trabajo del instructor y operador que se encuentra cerca del simulador y está interconectada a través de señales y conexiones eléctricas. La estación de trabajo del instructor está equipada con todos los elementos indispensables como ordenadores, monitores, consola de control alternativa, dispositivos de grabación (para que los datos de vuelo en tiempo real del estado del perfil de vuelo del sujeto sean fácilmente registrados para su análisis) y comunicación para poder controlar y monitorizar todos los modos y condiciones de funcionamiento del simulador; la plataforma móvil diseñada con 6 grados de libertad de acción (4+2), es capaz de demostrar balanceo +/- 30°, inclinación +/- 15° y guiñada 360° y el movimiento de elevación de cabina del piloto, así como las combinaciones elevación+ balanceo y elevación + banqueo. Estos movimientos combinados están controlados por un avanzado sistema de control de movimiento capaz de generar instrucciones para movimientos multiaxiales precisos que emulan las aceleraciones lineales y angulares; estas aceleraciones pueden generarse tanto en movimientos humanos detectables como en movimientos indetectables (subliminales) para proporcionar una demostración fiable y de alta fidelidad de todo el espectro de ilusiones vestibulares. El potencial de control en circuito cerrado genera unas condiciones interactivas para que el sujeto pueda conservar el control del simulador mientras esta bajo el influjo de una serie de preseleccionadas ilusiones somatogiras y algunas visuales diurnas o nocturnas. El sistema proporciona un entrenamiento seguro y realista en tiempo

real sobre la desorientación. La comodidad de un incremento gradual en la rotación de la guiñada y el movimiento de elevación adicional da una capacidad adicional de ser utilizado para la desensibilización de la cinetosis. (Boril et al., 2016, p. 3) (Cheung & Hofer, 2003, p. 15) (Force IA, 2006, p. 8).

### 3.6.1 Instrumentos Básicos de Vuelo.

▪ **Categorías de instrumentos.** El rendimiento de los aviones se logra controlando la actitud y la potencia del avión y esto gracias a los diferentes instrumentos básicos con que cuenta, que serán consultados según sea necesario para producir el rendimiento deseado. Esto se conoce como el "concepto de control y rendimiento" del vuelo por instrumentos en actitud y puede aplicarse a cualquier maniobra básica por instrumentos. (Breedlove, 2010, p. 12) (FAA, 2007) Las tres categorías generales de instrumentos son:

• **Instrumentos de control.** Muestran indicaciones inmediatas de actitud. El control se supervisa haciendo referencia a los indicadores de actitud (ADI). Las medidas de potencia varían con los aviones e incluyen tacómetros, relación de presión del motor (EPR), flujo de combustible, par de torsión, etc. (Breedlove, 2010, p. 12)(FAA, 2007)

• **Instrumentos de rendimiento.** Indican los resultados de la entrada de control del piloto. Los instrumentos de rendimiento incluyen el altímetro (ALT), el indicador de velocidad aerodinámica (SPD), el indicador de velocidad vertical (VSI), el indicador de rumbo (HI), y el indicador de giro y deslizamiento (TSI). (Breedlove, 2010, p. 12)(FAA, 2007)

• **Instrumentos de navegación.** indican la posición de la aeronave en relación con una instalación o fijo de navegación seleccionado. Indicador de rumbo (HI). (Breedlove, 2010, p. 12)(FAA, 2007)

▪ **Concepto de control y rendimiento.** Es el ajuste que establece el piloto para la actitud y potencia que dará como resultado el desempeño deseado de la aeronave, ajusta la aeronave para vuelo sin intervención incluso manual haciendo referencia a los instrumentos de desempeño. Cada control de vuelo tiene su efecto en la actitud de la aeronave y controla el movimiento de uno de sus tres ejes longitudinal, lateral y vertical. El

piloto aprende estos efectos para controlar la aeronave y obtener la actitud deseada (Breedlove, 2010, p. 12) (FAA, 2007) Dentro del Control de Actitud se tienen 3 tipos.

- **Control de inclinación longitudinal (eje X).** El control de la actitud de la aeronave por instrumentos se logra haciendo las entradas de control apropiadas y verificando el resultado en el ADI.
- **Control de Banco o inclinación lateral (eje Y).** Cambiar la "actitud del banco" o los punteros del banco una cantidad definida en relación con la escala del banco hace que las inclinaciones laterales cambien. La escala del banco normalmente se gradúa en 0°, 10°, 20°, 30°, 60° y 90°.
- **Control del eje de guiñada (eje Z).** Las referencias de control de guiñada en una ADI normalmente están situadas en la parte inferior de la caja, estos indicadores se denominan indicador de giro y deslizamiento (TSI). (Breedlove, 2010, p. 12)(FAA, 2007)

Por su parte el control de potencia, permite al piloto establecer o mantener suavemente las velocidades de aire deseadas en coordinación con los cambios de actitud. Los cambios de potencia se realizan mediante ajustes del acelerador y haciendo referencia a los indicadores de potencia del motor según la pantalla de datos del motor primario (Primary Engine Data Display PEDD). (Breedlove, 2010, p. 12)(FAA, 2007)

### 3.6.2 Técnica de Comprobación Radial Cruzada de Instrumentos

La comprobación cruzada es la división eficiente de la atención entre los instrumentos de control y de rendimiento, la capacidad de interpretar la información proporcionada por esos instrumentos y la corrección de cualquier discrepancia observada en los parámetros de vuelo de la aeronave. En síntesis, consiste en ver e interpretar y corregir. La técnica de escaneo visual de la comprobación cruzada se compara a menudo con el cubo y los radios de una rueda de vagón en la que el ADI es el cubo y los demás instrumentos son los radios. En general, la comprobación cruzada progresará desde el ADI, hacia otro instrumento, de vuelta al ADI y luego de nuevo hacia fuera. Sin embargo, existe otro tipo de técnica visual de confrontamiento de instrumentos como lo es la de tipo rectangular que inicia en los instrumentos superiores y continua con los instrumentos inferiores de manera perimetral (ver figura 1) (Breedlove, 2010, p. 12) (FAA, 2007)

**Figura 3-1:** Técnica de Chequeo cruzado de instrumentos radial y rectangular

### 3.7 Epidemiología

Kirkham, William R., et al. (1978) y Cheung Bob, et al (1995) mencionan que la proporción de SD reportada en accidentes de aeronaves civiles (0,5% en aviones grandes y 2,8% en aviones pequeños) fue menor que la reportada en aviones militares, que osciló entre 2,5 y 23%; así mismo la proporción de SD reportada en accidentes de helicópteros civiles también fue menor (1,1%) que la reportada en helicópteros militares (30%)". Sin embargo, el 90% de los accidentes civiles por SD fueron mortales, en comparación con el 39% a 79% de los accidentes militares. La proporción de accidentes nocturnos por SD ha oscilado entre el 26% de los pilotos civiles de Estados Unidos y el 29-73% de los pilotos militares (Lyons et al., 2006, p. 721).

Muy importante resaltar que en aviación general de los Estados Unidos de América (USA), la proporción de accidentes por SD está relacionado inversamente proporcional con la experiencia del piloto medida en total horas de vuelo (TFH), siendo después de 1000 horas que se reduce significativamente este riesgo, al igual que sobre las 100 horas de experiencia en vuelo nocturno (Mortimer, 1995, p. 27).

Diversos estudios han mostrado que más del 90% de todos los pilotos han experimentado SD. "Braithwaite et al., 1998b; Clark, 1971; Eastwood & Berry, 1960; Edgington & Box, 1982; Patterson, Cacioppo, Gallimore, Hinman, & Nalepka, 1997; Singh & Navathe, 1994; Tormes & Guedry, 1974; Se ha informado que, para un determinado piloto, la incidencia de la SD en su carrera es del orden del 90 al 100 por ciento" (Newman et al., 2007). Esta afirmación propone que es cuestión de tiempo para que un piloto, así sea por pasatiempo, experimente al menos un episodio de SD; por consiguiente, los pilotos pueden ser



considerados en uno de dos grupos: los que han sido desorientados, y los que lo serán (Newman et al., 2007). Así mismo, otros dos autores concluyen que el piloto nunca será invulnerable o que ningún piloto ha sido ni será inmune a la SD (Gibb et al., 2011, p. 720). Sin embargo, a este asunto se pronunció una encuesta a 141 pilotos militares donde el 64 % eran de transporte (carga, cisterna o reconocimiento) y 12% de combate, que arrojó una incidencia de hasta 94% en SD tipo Inclinaciones seguida por un 79% en Agujero Negro (Sipes & Lessard, 2000, p. 40). Esto también fue robustecido por otro estudio en la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (USAF) que concluyo, que a pesar de los distintos tipos de aeronaves con diferentes perfiles de aceleración, todas son susceptibles a la SD, incluidas las de tripulación múltiple (La presencia de un segundo miembro de la tripulación no parece proteger contra el SD (Lyons et al., 2006, p. 721). En torno al grado de la severidad "Dunford (1992), realizo el cuestionario sobre las experiencias de SD entre los aviadores del Ejército en el Reino Unido documentando que el 10% reportó que nunca habían estado desorientados, el 84% reportó al menos un episodio menor, el 56% había experimentado al menos un episodio significativo, y el 24% un episodio severo a lo largo de toda su carrera, cabe resaltar que este último grado de severidad se refiere a que la seguridad del vuelo se había puesto en peligro" (Holmes et al., 2003, p. 964).

Si bien se sabe, la mayoría de los eventos de SD ocurren sin resultar en situaciones graves es decir, pocos episodios de SD conducen a accidentes aéreos graves, (Takada et al., 2009, p. 628)(Reinhart, 2007, pp. 1-3) y esta casuística es solo la punta de Iceberg, pues en el fondo, hay un registro revelador de "incidentes SD" no agregados en los datos de accidentes, como la alteración de las misiones evidenciada por la reducción de la eficiencia y la eficacia de la tripulación y los "casi accidentes" relacionados con el SD que bien lo recalcaría en su ponencia "¿Esta el Comando Interesado?" el Teniente Coronel Jay Johnson USAF (1997) en su frase: "El hecho de que no hayamos estrellado más aeronaves no es motivo para ignorar la importancia de la SD" (Braithwaite et al., 1997).

Un artículo reciente de Gaydos et al. (2011) reportó que, en el Ejército de los Estados Unidos, entre el año fiscal 2002 y el 2011, el 31% del total de los accidentes de helicópteros con víctimas fatales estuvieron relacionados con la SD. (Gaydos et al., 2012, p. 744). Por su parte Bushby et al. (2018) argumentó que en el ala rotatoria del Reino Unido entre los años 2000 al 2015 La tasa global de accidentes fue de 2,32 accidentes por cada 100.000

horas de vuelo siendo reconocida la SD en 43% de los accidentes.(Powell-Dunford et al., 2016, p. 892)

De manera similar, Gibb et al. declararon que la SD en la aviación militar contribuye al menos al 25 - 33% de todos los accidentes aéreos y resultó en una tasa de mortalidad de casi el 100%(Gibb et al., 2011, p. 720). Cuando se compara con los datos de accidentes más antiguos, por ejemplo, en la Real Fuerza Aérea Canadiense (RCAF) entre 1982 y 1992, la SD está implicada en el 23% de todos los accidentes de categoría A. (Ziv, 2016, p. 80)

### **3.7.1 Antecedentes de SD en las fuerzas militares del mundo**

El más reciente estudio en Europa, llevado a cabo por el Reino Unido en helicópteros operados por el Comando Conjunto de la Marina Real, la fuerza de búsqueda y rescate y por la Escuela De Vuelo Helicópteros De Ministerio Defensa durante 16 años desde enero del 2000 hasta diciembre de 2015, mediante el análisis de información de accidentes de helicópteros contenida por las autoridades de misterio defensa del Reino Unido, encontraron 53 accidentes de helicóptero a una tasa global de 2.32 accidentes por cada 100 mil horas de vuelo.

Del total de estos eventos 43 (83%) incluyeron al menos alguna atribución a factores humanos de la tripulación, y 23 eventos (43%) involucran algún grado de desorientación espacial, aproximadamente 1 accidente por cada 100.000 horas de vuelo. Para evaluar la tendencia de la tasa de accidentes antes y después del informe de Haddon-Cave, los datos se agruparon en dos períodos y se calcularon las tasas de incidencia. De 2000 a 2009, la tasa de accidentes fue de 2,81 eventos por cada 100.000 horas de vuelo, y de 2010 a 2015, la tasa de accidentes fue de 1,24 eventos por cada 100.000 horas de vuelo. La comparación de estas tasas mediante el método de teoría normal dio como resultado una diferencia estadísticamente significativa ( $P = 0,031$ ). Esta disminución de la siniestralidad comparte claramente una asociación temporal con la aplicación de las recomendaciones de Haddon-Cave (publicada en octubre de 2009) donde propusieron cambios contextuales amplios y transformadores en la cultura de la seguridad aérea en todo el Ministerio de Defensa. Haddon-Cave declaró que el objetivo final de su informe era "mejorar la seguridad y la aeronavegabilidad para el futuro".(Gaydos et al., 2012, p. 744)

El estudio más reciente en el continente americano realizado por Robert Poisson y Michael Miller en la USAF, basado en el sistema automatizado de seguridad de la USAF, durante 21 años (1993 al 2013) utilizando la herramienta de extracción de datos integrada DET, permitió exportar información relevante para accidentes de clase A (determinado este como el accidente que ocasiona más de 2 millones de dólares en daños o pérdidas de vidas). Los principales resultados de este estudio son que significaron 601 accidentes de clase A (13.5 accidentes de clase A ocurridos por millón de horas de vuelo), de estos 72 fueron involucrados por SD (1.6 accidentes de clase A ocurridos por millón de horas de vuelo) que ocasionaron la pérdida de 101 vidas y 65 aviones con un costo por pérdida de propiedades y costos médicos directos de 2320 millones de dólares. (Poisson & Miller, 2014, p. 922)

En general los accidentes de clase A por SD representan el 12% del número total de accidentes de clase A, (estos datos son consistentes con estudios reportados anteriormente en la fuerza de los Estados Unidos: Evans en datos de 1980 a 1989 relaciona a la desorientación espacial como causa del 13% de estos accidentes), igualmente representan el 17.7% de los aviones perdidos como también el 17.8% de los costos y un sorprendente 24.9% de las vidas perdidas ya que la SD se relaciona con el 34.1% de los percances mortales. Otro dato que resulta interesante es que mientras que el 16,1% (85) de los accidentes de clase A no relacionados con SD resultaron en una fatalidad, el 61,1% (Ercoline, 2016, p. 750) de los accidentes de clase A relacionados con SD resultaron en una fatalidad. Llevando esta información a un cociente de riesgos indica que el riesgo de una fatalidad es 2.84 veces mayor en un accidente de clase A que involucra la SD que en uno que no involucre la SD. En definitiva, los accidentes graves por SD tienen más probabilidad de causar la muerte que el típico percance o accidente de clase A; estos hallazgos son apoyados por importantes investigadores quienes afirman que la desorientación espacial es la causa principal de la muerte de los pilotos militares. (Poisson & Miller, 2014, p. 922)

El tipo de aeronave involucrado en con accidente de clase A por SD en la USAF arrojó una tasa de fue 5,15 veces más alta por hora de vuelo para las aeronaves F/A que para todas las demás aeronaves de ala fija, específicamente para el F16 quien resulta involucrado en el 35.2% de los accidentes clase a relacionados con SD en la USAF representando así

una proporción relativamente grande de estos accidentes que al ser ajustado por horas de vuelo arroja un dato de 3.69 Accidentes clase A con SD por millón de horas de vuelo. Los helicópteros sufren 8,14 accidentes de clase A relacionados con SD por millón de horas de vuelo, mientras que sus homólogos de ala fija sólo sufren 1,42 accidentes de clase A relacionados con SD por millón de horas de vuelo. Por lo tanto, los helicópteros están involucrados en accidentes de clase A relacionados con SD a una tasa de 5.73 veces mayor por hora de vuelo que la de los aviones de ala fija, esto en teoría porque en los aviones de combate se presentan pérdida de la capacidad cognitiva por una aceleración excesiva en maniobras que son más agresivas que otras aeronaves en cambio la explicación en helicópteros por SD se relaciona por su proximidad a la tierra y la velocidad en estos cada vez más altas que reducen los tiempos de decisión. Por lo tanto este estudio genera sensibilidad para focalizar esfuerzos a estas dos plataformas donde los accidentes por disertación espacial son aproximadamente 5 veces más probables por hora de vuelo que las demás aeronaves. (Poisson & Miller, 2014, p. 922)

Estudio a tener en cuenta por la riqueza de su reseña histórica en la SD en las fuerzas militares de los Estados Unidos, que fue presentado en el 2010 en el ASMA por grandes investigadores (Randy Gibb y Bill Ercoline) donde hacen una revisión de 25 estudios desde 1947 que reportan resultados de encuestas anónimas a pilotos y datos de todos los incidentes debidos a desorientación espacial y lanzan para el estudio del 2010 la conclusión que hasta un 14% de todos los accidentes pueden ser debidos a desorientación espacial y resulta en el mayor número de fatalidades por la inexactitud y notificación insuficiente de la SD. Los datos los dan por el año de publicación de cada uno de estos estudios así:(Gibb et al., 2011, p. 720)

1947: Los aviadores de la NAVY de los Estados Unidos, 67 en total, informaron sobre sus experiencias ilusorias; Los pilotos experimentados seguían siendo propensos a las ilusiones, independientemente del tiempo total de vuelo. (Gibb et al., 2011, p. 720)

1959: de 1954 a 1956, el 4% de todos los infortunios se consideraron relacionados con la DS, pero representaron el 14% de todas las fatalidades. (Gibb et al., 2011, p. 720)

1971: Se evaluaron los percances de la USAF entre 1958 y 1968 y los autores sintetizaron que el probable piloto SD tendría 30 años de edad, con 10 años y 1500 horas de vuelo de

experiencia, y volando aviones de combate. Ellos reportaron que la DS contribuyó al 6% de todos los accidentes y al 11% de todas las fatalidades. (Gibb et al., 2011, p. 720)

1995: La USAF atribuyó 270 de los 356 percances (76%) de 1980 a la pérdida de conciencia de la situación/SD, resultando en 437 fatalidades; Los factores que llevaron a la pérdida de la conciencia de la situación/SD fueron la atención canalizada (61%), la restricción visual (30 - 40%), la ilusión visual (20 - 30%) y el exceso de confianza (10 - 14%). (Gibb et al., 2011, p. 720)

1998: Los datos de helicópteros del Ejército de los EE.UU. de 1987 a 1995, incluyendo todos los percances de Clase A, B y C (970 en total), mostraron que el 30% tenía contribuciones de SD y el 62% de las SD ocurrieron en la noche. (Gibb et al., 2011, p. 720)

2000: Los accidentes de la USAF de 1994 a 1998 citaron a la SD como un factor primario en 18 (12%) de un total de 148 accidentes de Clase A (34). Los datos fueron reexaminados con una definición más amplia de la SD y el porcentaje de accidentes con la SD extendió hasta el 27%.(Gibb et al., 2011, p. 720)

2002: Encuesta de la USAF a 2.582 pilotos sobre sus experiencias con SD (Webb et al., 2010, p. 27). Las siete ilusiones más comúnmente experimentadas fueron (% de pilotos que han experimentado la ilusión): inclinaciones, 76%; pérdida de horizonte, 69%; horizonte inclinado, 66%; Coriolis, 61%; aproximación nocturna - agujero negro, 58%; señales de altitud engañosas, 50%; y falso sentido de inclinación hacia arriba, 44%. La Marina de los Estados Unidos en 2001 tuvo 19 incidentes de Clase A, de los cuales el 26% fueron atribuidos a SD y representaron el 50% del número total de fatalidades.(Gibb et al., 2011, p. 720)

2003: Los accidentes de clase A de la NAVY de los Estados Unidos entre 1990 y 2000 revelaron un 20% atribuido a la SD, de los cuales el 50% fueron en la noche, y representaron el 64% de todas las fatalidades. (Gibb et al., 2011, p. 720)

2004: Entre 1997 y 2002, la Marina de los Estados Unidos experimentó 120 percances en aviones de ala fija; 22 (18%) de ellos estuvieron relacionados con SD, resultando en 23 fatalidades y 475 millones de dólares en recursos. Aviones de ala rotatoria sufrieron un

29% de accidentes de SD, resultando en 35 fatalidades con un costo de \$118 millones. (Gibb et al., 2011, p. 720)

2006: Los percances de la USAF entre 1990 y 2004 tuvieron un 11% de todos los percances atribuidos a la SD y un 23% de todos los percances nocturnos que tuvieron factores que contribuyeron a la SD (Campbell & Bagshaw, 2002). Los resultados en términos de porcentaje de víctimas mortales son más llamativos, ya que la SD representó el 57% de todos los percances y el 81% de las víctimas mortales en la noche. (Gibb et al., 2011, p. 720)

2007: un informe de una investigación de seguridad de la SD australiana indicó que la probabilidad de que los pilotos experimentaran la SD en su carrera de aviación era de 90 - 100% (Force IA, 2006, p. 8); además, la tasa de SD en accidentes estaba entre el 6 - 32% y representaba entre el 15 - 26% de todas las fatalidades de aviación. El autor concluyó que la "verdadera prevalencia de los eventos de SD es casi con toda seguridad subestimada". (Gibb et al., 2011, p. 720)

2009: Los datos de la NAVY de los EE.UU. entre 2000 y 2007 revelaron que el 10% de todos los percances estaban relacionados con la SD y representaron el 40% de todas las fatalidades; 13 de 18 fueron por la noche. (Gibb et al., 2011, p. 720)

2010: Los datos de la USAF analizados de 1999 a 2009 encontraron que la DS jugó un papel importante en el 11% de todos los percances y el 42% de todas las fatalidades. Los aviones de combate representaron el 65% de los accidentes mortales de SD. Similar a la descripción de Barnum y Bonner en 1971 del piloto típico de SD; los autores, Williams y Johnson, caracterizaron al piloto típico de SD de hoy en día como el más probable lanzamiento de un F-16, F-15 o A-10 con 2.500 horas de lanzamiento, por la noche a un nivel bajo, y durante los Gs bajos a moderados en un banco ligero. (Gibb et al., 2011, p. 720)

2010: La tasa de accidentes de SD no ha cambiado significativamente en los últimos 20 años para la USAF; de 1990 a 1999, la DS representó el 14% de todos los accidentes y el 30% de todas las muertes, en comparación con los datos de SD de 2000 a 2009, en los que se atribuyó la DS en el 11% de todos los accidentes y el 26% de todas las muertes. (Gibb et al., 2011, p. 720) (Gibb et al., 2010, pp. 1-3).

El estudio de Steven Gaidos a Michael Harrigan llevado a cabo en el ejército de Estados Unidos durante 10 años de accidentes por SD en helicópteros desde 2002 hasta el 2011; reportaron un total de 100 accidentes relacionados con desorientación espacial de los cuales el 22% fueron mortales y el 39% fueron mortales y con lesiones. Asimismo, los incidentes debidos a SD tuvieron más probabilidades de provocar una muerte con un cociente de riesgo de 3.6; también especifica que la SD construyó en promedio a 10 accidentes por año a un ritmo de 1,1 accidente por cada 100,000 horas de vuelo para todas las aeronaves de ala rotatoria y de 1.4 para las principales aeronaves operativas como el Black Hawk y el apache. En general la SD estuvo implicada en el 11% de todos los accidentes de ala rotatoria del ejército de los Estados Unidos, siendo esta cifra inferior a la de 30% reportada en la década anterior, dónde se debe tener precaución al compararlo por cuestiones confusas de la definición y selección de los casos. En este caso también los datos refuerzan la importancia y gravedad que los incidentes relacionados con SD tiene más prioridad de provocar una fatalidad soportados en que casi una cuarta parte (22%) y más de la tercera parte (39%) causaron fatalidades y o lesiones; y casi la mitad (44%) resultaron en la destrucción total del avión, también existe la probabilidad de que el número real de accidentes relacionados con SD es probablemente mayor que el que realmente se recoge en la base de datos de accidentes por problemas de inexactitud y subregistro de la SD en las investigaciones de accidentes. Otra información importante que da este estudio es el incremento de accidente en los tiempos de guerra, donde se encontró que en el 2003 se encontraba aumentada la tasa de accidentes coincidiendo con el inicio de la operación "libertad Iraquí", que posteriormente disminuyo a medida que fue madurando la guerra o que se mejoraron las superficies de aterrizaje y la experiencia como piloto de helicóptero en ambientes de arena; los datos son el 62% de los accidentes de helicóptero por desorientación espacial en los teatros de combate(sin incluir la acción evasiva tomada para evitar el fuego enemigo); también se vio relacionada la desorientación espacial en el 58% de las misiones con múltiples aeronaves, al igual que 66% de las emisiones nocturnas en el que empleaban un ayuda tecnológica de visión nocturna en esas misiones.(Gaydos et al., 2012, p. 744)

En Japón se contaba con un estudio previo donde, la tasa de accidentes relacionados con SD se ha considerado de aproximadamente el 12% en el 2005 en pilotos de aviones de caza de las fuerzas de autodefensa japonesas, Takada (2009) en Japón, mediante

cuestionarios a pilotos de 7 diferentes grupos de entrenamiento de alas aéreas y de cazas tácticos de las fuerza de autodefensa Japonesa en el cual se seleccionaron 332 casos de los cuales 317 (95%) de estos, experimentaron SD, además la proporción de casos de día versus casos noche, fue de 47.3% versus 52.7% (150 Vs 167) respectivamente, mostrando una clara prevalencia de eventos nocturnos de SD; igualmente reportó la severidad de los episodios de SD en la noche fue mayor que durante el día, causado por la gravedad de las ilusiones visuales que eran significativamente mayor durante la noche; Takada deduce que los casos severos de SD en la noche pueden estar involucrados en el aumento de la incidencia de accidentes aéreos en la noche. Su estudio analizó y resumió los peores episodios de SD por los tipos de ilusiones de SD: visuales, vestibulares y otros. Esta clasificación fue similar a la de estudios anteriores. La población que experimentó la ilusión vestibular fue mayor que los otros dos grupos, pero hubo un aumento significativo de los peores episodios de SD sólo en la ilusión visual entre el día y la noche.(Takada et al., 2009, p. 628)

El estudio para nuestro país Colombia fue realizado en el 2003 por Sánchez Rubio. L. M. donde mediante encuesta a pilotos de la Fuerza Aérea de Colombia encuentra resultados importantes como que el 67% de los pilotos de la FAC refirieron haber experimentado SD y el 95% en más de una oportunidad especialmente en aeronaves de más alto rendimiento, en vuelo nocturno y con ayudas de visión nocturna; Así mismo la SD ha contribuido a accidentes de aviación en las fuerzas militares colombianas y ha afectado la efectividad operacional. En otro estudio Colombiano presentado en el 2010, donde seleccionaron que de 388 accidentes ocurridos en 15 años, aparece la SD con el 1% de factor explicativo de la causa probable de accidente.(García Morales, 2010)



## **4. Objetivos**

Caracterizar las conductas visuales de escaneo de instrumentos en un grupo de pilotos de ala fija de la Fuerza Aérea Colombiana en el desorientador espacial, durante un perfil tipo inclinación, en el mes de octubre del 2019.

### **4.1 Objetivos Específicos**

- Determinar los patrones de escaneo visual de la técnica de chequeo cruzado de instrumentos en la población de estudio, mediante los tiempos de fijación en los instrumentos de control y comportamiento, durante la ilusión de inclinación inducida en el desorientador espacial GYRO II de la Fuerza Aérea Colombiana en el mes de octubre del 2019.
- Determinar si existe la relación entre los antecedentes: cantidad de entrenamientos en desorientación espacial (en vuelo y en simulador de desorientación espacial) y la experiencia (según horas totales de vuelo) de la población de estudio; frente a los resultados, realización adecuada de la técnica visual de chequeo cruzado y pérdida de altitud, durante la ilusión de inclinación inducida en el desorientador Espacial GYRO II de la Fuerza Aérea Colombiana en el mes de octubre del 2019.
- Establecer la incidencia de desorientación espacial en la población de estudio, mediante encuesta realizada previa al ejercicio de inclinación inducida en el desorientador Espacial GYRO II de la Fuerza Aérea Colombiana perteneciente a la unidad aérea de CATAM de la Fuerza Aérea Colombiana hasta 30 de septiembre del 2019.
- Tener puntos de partida para proponer mejoras en el programa de entrenamientos en desorientación espacial de la Fuerza Aérea Colombiana

## **5. Metodología**

### **5.1 Diseño del Estudio**

Estudio observacional descriptivo de corte trasversal.

### **5.2 Población**

La muestra necesaria por tratar según la población de pilotos de ala fija de la Guarnición de Bogotá que es de 130 pilotos, con intervalo de confianza del 95% y tomando como base una frecuencia esperada de SD del 99% en esta población. Se cargaron estos datos al programa de Epi Info 5.2 con un resultado de 14 pilotos de muestra necesaria a tratar. Se intentará tomar dos grupos iguales en número, uno con pilotos de menos de 1000 horas totales de vuelo y otro grupo de pilotos de más de 1000 horas totales de vuelo. Se procederá a la invitación a este estudio, por medio del grupo de educación aeronáutica de CATAM, a los pilotos militares de ala fija de la guarnición de Bogotá para que de manera voluntaria participen en el trabajo de investigación en Desorientación espacial en la Dirección de Medicina Aeroespacial en el mes de octubre del 2019.

### **5.3 Criterios de inclusión**

Pilotos de ala fija voluntarios en servicio activo de la Fuerza Aérea Colombiana.

Con autonomía de vuelo vigente esto incluye que tenga el certificado de aptitud psicofísica en condición de apto para el vuelo.

### **5.4 Criterios de exclusión**

- Que al momento del ensayo se encuentren alteraciones médicas agudas.
- Que no terminen la prueba.

- Que los datos del perfil de vuelo no estén adecuados o estén incompletos.
- Que no hayan firmado el consentimiento informado.

## 5.5 Análisis estadístico

Se describirán las variables de estudio utilizando medidas de tendencia central y dispersión (media con la desviación estándar y mediana con rango intercuartílico), para las variables discretas se utilizará las proporciones expresadas en porcentajes. La normalidad de las variables se verificará mediante la prueba de Shapiro Wilk. Se realizará análisis bivariado de acuerdo con la naturaleza de la variable, si son dos variables cuantitativas se utiliza una prueba de correlaciones (Pearson o Spearman), en donde la hipótesis que se busca juzgar es si el coeficiente de correlación es 0 o si es diferente (Monroy & Rivera, 2012, pp. 56), si el p valor resultante de la prueba es menor a 0.05 se puede concluir las dos variables tienen una relación lineal. Si una variable es cuantitativa y la otra es cualitativa dicotómica, se utiliza una prueba t o la prueba de Suma de rangos (Prueba U de Mann-Whitney), la cual busca diferencias en los promedios de la variable cuantitativa de acuerdo con la variable cualitativa (Álvarez, 2004, pp 270), nuevamente si el p valor de la prueba es menor a 0.05 se puede concluir que existe diferencia promedio en la variable cuantitativa de acuerdo con la variable cualitativa dicotómica. Por último, si las dos variables son cualitativas la prueba para concluir si existe relación entre las variables es un chi cuadrado de independencia o Fisher, en donde la hipótesis a juzgar es si las variables son independientes entre sí, es decir, el valor que tome una variable no depende del valor que tome la otra variable, para este caso si el p valor de la prueba es menor a 0.05 se concluye que existe una dependencia entre las dos variables.

## 5.6 Procedimientos y recolección de la información

Los pilotos que se presentaron voluntariamente al trabajo de investigación en desorientación espacial en la Dirección de Medicina Aeroespacial, se les informara del estudio y sus objetivos y posteriormente se les solicitara si quieren participar voluntariamente en este importante estudio.

Explicado esto se le entregará al participante que haya decidido participar en el estudio, los formatos de información y consentimiento informado; se aclaran dudas y se firmara el consentimiento informado por parte del participante. Tiempo estimado 10 minutos.

Los participantes voluntarios seguidamente, realizaran inicialmente un Auto reporte de salud y Examen médico dirigido a movimientos ocular agudeza visual y sistema vestibular, que garantice la aptitud física actual previos al ejercicio en el desorientador. Tiempo estimado 10 minutos.

Luego contestaran una lista de preguntas en la primera cara de hoja de herramienta relacionados con experiencia con la Desorientación espacial (ver anexo). Tiempo estimado 5 minutos.

Posterior a esto los sujetos pasaran a la sala de briefing donde se les se les explicara el trasfondo del cometido del estudio observacional en desorientación espacial, los tipos de desorientación, las contramedidas recomendadas ante la desorientación y los equipos a utilizar. Además, se incluirá un briefing de la misión que incluye propiedades básicas de operación del T-6A TEXAN II (que es la configuración de la cabina del simulador), estudio de la carta de navegación VFR del aeródromo designado para la ejecución del ejercicio (ver anexos). Tiempo estimado 20 minutos.

Clase teórica general de desorientación espacial dispuestas en el programa de entrenamiento en desorientación espacial en el auditorio de la dirección de Medicina aeroespacial. Tiempo estimado 20 minutos.

Receso y toma de refrigerio. Tiempo estimado 10 minutos.

Seguidamente, se llevarán los sujetos al laboratorio de desorientación, donde se realizará un breve reconocimiento de la cabina o góndola del Desorientador Espacial Avanzado (DEA) GYRO IPT II y posterior a ello se le colocará el sistema *Eye-Tracker* , una especie de gafas de rastreo ocular acopladas a cada sujeto. Entonces se realiza una calibración fina de este Eye Tracking que consiste en sentar el participante frente a una pared blanca situada a 80 cm, donde básicamente se le pide fijar 9 puntos que conforman un cuadrilátero

de 40 x 40 cm mientras el equipo censará el movimiento de las pupilas y su respectivo grado de inclinación en cada uno de estos puntos. Tiempo estimado 10 minutos.

Inmediatamente posterior a la calibración, los sujetos ingresarán a la cabina del simulador con el debido cuidado de no mover el *Eye-Tracker* de su cabeza, para luego el sujeto continuar con los chequeos de operatividad de la cabina del simulador en estrecha comunicación con el operador del DEA. Lo primero será la realización de un vuelo de familiarización en un circuito tráfico sobre aeródromo que consistirá en:

Situado en cabecera de pista 31 derecha con un escenario simulando condiciones meteorológicas visuales, iniciará carrera despegue, rotará con la velocidad indicada, para posteriormente realizar un patrón de tráfico básico u ovalo en el aeródromo KCBM (Base aérea de Columbus USA,). Se le guiara en cada segmento del circuito (donde se les pedirá que mantengan altitud 1000 ft, rumbo, banqueos de 30° y velocidad de acuerdo a la carta ver anexos), y llegado al tramo base o final se le indicara que realice maniobra de aterrizaje frustrado o motor al aire. (5 min aprox. de la línea base de tiempo grabación).

**Figura 5-1:** Esquema cabina del desorientador espacial avanzado y gafa *Eye-Tracker* .



Cumplidos estos requerimientos a satisfacción de la fase de familiarización con los controles de vuelo del simulador (de lo contrario o para aquellos sujetos que no hayan tenido entrenamiento aun con este simulador se repetirá nuevamente el vuelo de familiarización), posterior a la maniobra de aterrizaje frustrado, en ese momento pasaría a la segunda parte del vuelo o fase del ensayo, en el cual el operador le instruirá a: Continúe con rumbo de pista e inicie ascenso para 7000 ft, y rata de ascenso de 2000 ft/min, (por encima de 2000 ft las condiciones visuales del escenario estarán totalmente deterioradas), a los 8 minutos aproximados de vuelo, nivelado en 7000 ft sobre el terreno y girando por derecha, se inicia giro de guiñada del simulador, (el programa detecta requisitos y automáticamente inicia el perfil de Inclinaciones girando la góndola con velocidad angular constante de 120°/ segundo), entonces se le indicara rápidamente virar por derecha buscando rumbo 315° y mantenga banqueo de 30°; en el momento de estar llegando a ese rumbo, se le ordena rápidamente sacar planos a nivel y pasar a vuelo recto y nivelado [el programa detecta cumplimiento de orden paralizando “congelando” por 10 segundos el instrumento indicador de actitud (ADI) cuando el símbolo de los planos del avión en este instrumento esté indicando aproximadamente 5° por debajo del horizonte artificial], al mismo tiempo que desacelera la velocidad angular de la góndola hasta alcanzar paulatinamente 0°/ seg.); En estos momentos de confusión para el piloto al percibir información de su sistema vestibular que está en otra posición (dada por la inercia producto de la desaceleración de la góndola) en contraposición de la información “falsa” del instrumento ADI “congelado” en casi recto y nivelado con el horizonte artificial, recreando artificialmente así el perfil de Inclinaciones donde el piloto se percibe inconforme o estar en desacuerdo con la información de los instrumentos. Entonces el piloto entrenado realizara la contramedida el Chequeo cruzado de instrumentos entre el ADI y los demás instrumentos de control y rendimiento, hasta recuperar el control de la aeronave o accidentarse. Fin de la misión. (9 min aprox. de la línea base de tiempo grabación).

La medición de variables de patrones de escaneo visual en este ejercicio de SD somatogírica se realizará con la recolección de datos a partir de la grabación del video del *Eye-Tracker* , que inicia una vez terminada la calibración fina de este equipo. El lapso de tiempo de interés (aproximadamente al minuto 8 de vuelo) es aquel donde el simulador empiece a ejecutar automáticamente el perfil de Inclinaciones (segundos antes que se paralice el instrumento AI) hasta que se evidencia control de la aeronave o accidente (40 segundos aproximadamente). Para esto se requiere renderizar y cortar este lapso de

tiempo del video en un laboratorio de la UNAL, donde se le contabilizara las fijaciones y movimientos oculares de sacada dentro de cada una de las zonas de interés (corresponden a los instrumentos de orientación y navegación) que se requieren para evaluar la contramedida chequeo cruzado de instrumentos o *Cross Check*, que realiza cada sujeto durante su transitoria desorientación espacial inducida por el simulador para recuperar el control de la aeronave. Estos datos se conservarán y llevarán a la base de datos del estudio, como también en una laptop propia del *Eye Tracking* que cuenta con el software para dar tratamiento a los datos de las ubicación de fijaciones y tiempo de fijación, y su posterior análisis en la UNAL

Por último, después de sacado al sujeto del simulador se le entregará su hoja de encuesta donde se diligenciará la información de síntomas presentados en el vuelo simulado; esta encuesta se almacenará en el archivo del estudio y se consignará los datos en una base de datos en Excel. Posteriormente en reunión de grupo dentro del laboratorio se dará una sana discusión por los síntomas presentados y se dilucidaran las ilusiones presentadas.

### 5.6.1 Variables del Estudio y Definición de Variables

Variable, nivel de medición y tipo variable:

**Tabla 5-1:** Variables del estudio

<b>VARIABLE</b>	<b>ESCALA DE MEDICIÓN</b>	<b>TIPO DE VARIABLE</b>
<i>EDAD</i>	_____ Años	<i>Continua</i>
<i>GENERO</i>	<i>Masculino (M); Femenino (F):</i> _____	<i>Nominal</i>
<i>HORAS TOTALES DE VUELO</i>	<i>Horas</i> _____	<i>Continua</i>
<i>CATEGORIA DE EXPERIENCIA SEGUN HORAS DE VUELO</i>	<i>Menor a 1000 hr Novato (J); Mayor a 1000 hr Experto (E)</i> _____	<i>Nominal</i>
<i>EQUIPO DE VUELO ACTUAL.</i>	<i>Equipo de vuelo actual</i> _____	<i>Nominal</i>
<i>ENTRENAMIENTO EN SD DEA</i>	<i>Numero de Entrenamiento en SD con el Desorientador</i>	<i>continua</i>

	<i>Espacial Avanzado:</i> _____	
<i>ENTRENAMIENTO EN SD EN VUELO</i>	<i>Numero de Entrenamientos SD en vuelo: _____</i>	<i>Continua</i>

**Tabla 5 1:** Variables del estudio (continuación)

<i>CUANTAS VECES HA PRESENTADO SD</i>	<i>Número de veces que ha experimentado en vuelo SD</i>	<i>Continua</i>
<i>FUERON RECONOCIDAS</i>	<i>Fueron reconocidas SI____ NO____</i>	<i>Nominal</i>
<i>EN CALIDAD DE AL; PIL; COP; Ninguno</i>	<i>En calidad de ALUMNO(AL); PILOTO(P); COPILOTO (C )</i>	<i>Nominal</i>
<i>CONDICIONES IMC o VMC</i>	<i>Padeció SD bajo condiciones Instrumentos(IMC) o visuales (VMC) _____</i>	<i>Nominal</i>
<i>CLASIFICACION DE LA SEVERIDAD</i>	<i>Leve (A) Moderada (B) Severa(C )</i>	<i>Nominal</i>
<i>TIEMPO TOTAL EN QUE REALIZO LA PRUEBA BAJO INDUCCION DE SD</i>	<i>Milisegundos</i>	<i>Continua</i>
<i>TIEMPO TOTAL DE FIJACIONES VENTANA FRONTAL (FRONT W)</i>	<i>Milisegundos</i>	<i>Continua</i>
<i>TIEMPO TOTAL DE FIJACIONES EN VELOCIMETRO (ASI)</i>	<i>Milisegundos</i>	<i>continua</i>
<i>TIEMPO TOTAL DE FIJACIONES EN INDICADOR DE ACTITUD (ADI)</i>	<i>Milisegundos</i>	<i>Continua</i>
<i>TIEMPO TOTAL DE FIJACIONES EN INDICADOR DE GIRO DERRAPE (TSI)</i>	<i>Milisegundos</i>	<i>Continua</i>
<i>TIEMPO TOTAL DE FIJACIONES EN INDICADOR DE ALTITUD (ALT)</i>	<i>Milisegundos</i>	<i>Continua</i>



TIEMPO TOTAL DE FIJACIONES EN INDICADOR DE RUMBO (HI)	Milisegundos	Continua
TIEMPO TOTAL DE FIJACIONES EN INDICADOR DE VELOCIDAD VERTICAL (VSI)	Milisegundos	Continua
TIEMPO TOTAL DE FIJACIONES EN INSTRUMENTOS REDUNDANTES	Milisegundos	Continua

**Tabla 5 1:** Variables del estudio (Continuación)

TIEMPO TOTAL DE FIJACIONES EN OTROS INSTRUMENTOS	Milisegundos	Continua
TIEMPO TOTAL FUERA DE INSTRUMENTOS, RUIDO O DATOS NO REGISTRADOS	Milisegundos	Continua
TIEMPO TOTAL DE FIJACIONES SOBRE INSTRUMENTOS DE INTERES	Milisegundos	Continua
NUMERO DE INSTRUMENTOS DE INTERES FIJADOS	Número de veces que fijo en instrumentos interés	Continua
RAZON DE MILISEGUNDOS EMPLEADOS POR INSTRUMENTO	Milisegundos	Continua
ADECUADA TECNICA CHEQUEO CRUZADO DE INSTRUMENTOS	SI = 1; NO = 0	Nominal
PERDIDA DE ALTURA	Numero de pies perdidos en el ejercicio	Continua

<i>VIOLACION DE ALTURA MINIMA DE SEGURIDAD (MSA)</i>	<i>SI = 1; NO = 0</i>	<i>Nominal</i>
--	-----------------------	----------------

## 6. Resultados e Impacto Esperado

El estudio pretende fundamentar el impacto que tiene los efectos de la SD indiscriminadamente sobre los pilotos sin importar el número de horas totales de vuelo, número de entrenamientos o cargo dentro de la cabina que posea el piloto; diferenciando eso sí, que la contramedida de patrón de escaneo de instrumentos adoptada por cada uno de los participantes ya sean legos o experimentados serían diferentes dependiendo de las anteriores variables.

La intención del estudio es de observar cuando el piloto se encuentra bajo total influjo de la SD y presenta la degradación del desempeño cognitivo, la manera como este implementa la contramedida enseñada durante varios de sus entrenamientos de vuelo por instrumentos llamada "Cross Check", comprobación cruzada de instrumentos u orientación sintética (técnica que desprecia el instinto de prioridad en atender la entrada sensorial ilusoria, por una tarea secundaria de procesamiento cortical consciente y enorme, como el de confiar en las lecturas de los instrumentos de control y rendimiento, para disipar y superar la SD), y esta gestión cotejarla con los resultados al final del ejercicio en el control de la aeronave que básicamente es la pérdida de altura y/o colisión contra el terreno en el ejercicio simulado.

Igualmente se pretende generar mediante estos resultados recomendaciones al programa de entrenamiento en desorientación espacial encauzado a la ejecución de la contramedida para la SD, específicamente en la técnica visual de chequeo cruzado de instrumentos enseñada por las escuelas de formación y curso de instrumentos de la institución, como una forma de evidenciar la evolución particular de esta técnica en cada participante para el buen desempeño de la aeronave bajo condiciones de SD.

Finalmente se quiere actualizar la estadística de experiencia en vuelo de pilotos de ala fija de CATAM con la SD, a través de una encuesta, para juntamente con los resultados del

presente proyecto de investigación, ser el punto de partida para futuros estudios que respondan preguntas de interés sobre nuestra población aeronáutica en el marco de políticas de la institución de incrementar el conocimiento de esta entidad en las tripulaciones.

## 7. Consideraciones Éticas

De acuerdo con los principios establecidos en la Declaración de Helsinki (AMM / 1964 - 2008) y en la Resolución 008430 de octubre 4 de 1993 y debido a que esta investigación se Consideró bajo el artículo 10 clasificar como de RIESGO MÍNIMO; el cual se esclarece en el artículo 11 así:

Son estudios prospectivos que emplean el registro de datos a través de procedimientos comunes consistentes en: exámenes físicos o psicológicos de diagnóstico o tratamientos rutinarios, entre los que se consideran: pesar al sujeto, electrocardiogramas, pruebas de agudeza auditiva, termografías, colección de excretas y secreciones externas, obtención de placenta durante el parto, recolección de líquido amniótico al romperse las membranas, obtención de saliva, dientes deciduales y dientes permanentes extraídos por indicación terapéutica, placa dental y cálculos removidos por procedimientos profilácticos no invasores, corte de pelo y uñas sin causar desfiguración, extracción de sangre por punción venosa en adultos en buen estado de salud, con frecuencia máxima de dos veces a la semana y volumen máximo de 450 ml en dos meses excepto durante el embarazo, ejercicio moderado en voluntarios sanos, pruebas psicológicas a grupos o individuos en los que no se manipulará la conducta del sujeto, investigación con medicamentos de uso común, amplio margen terapéutico y registrados en este Ministerio o su autoridad delegada, empleando las indicaciones, dosis y vías de administración establecidas y que no sean los medicamentos que se definen en el artículo 55 de esta resolución.

Y en cumplimiento con los aspectos mencionados con el Artículo 6 de la presente Resolución, este estudio se desarrollará conforme a los siguientes criterios:

Se ajustará a los principios científicos y éticos que la justifiquen.

Se fundamentará en la experimentación previa realizada en animales, en laboratorios o en otros hechos científicos.

Se realizará solo cuando el conocimiento que se pretende producir no pueda obtenerse por otro medio idóneo.

Deberá prevalecer la seguridad de los beneficiarios y expresar claramente los riesgos (mínimos), los cuales no deben, en ningún momento, contradecir el artículo 11 de esta resolución.

Contará con el Consentimiento Informado y por escrito del sujeto de investigación o su representante legal con las excepciones dispuestas en la presente resolución.

Deberá ser realizada por profesionales con conocimiento y experiencia para cuidar la integridad del ser humano bajo la responsabilidad de una entidad de salud, supervisada por las autoridades de salud, siempre y cuando cuenten con los recursos humanos y materiales necesarios que garanticen el bienestar del sujeto de investigación.

Se llevará a cabo cuando se obtenga la autorización: del representante de la institución donde se realice la investigación; el Consentimiento Informado de los participantes; y la aprobación del proyecto por parte del Comité de Ética en Investigación de la institución. Finalmente se garantizará que la identificación de los sujetos será mediante un código alfanumérico que asegura la no identificación al sujeto y que se mantendrá la confidencialidad de la información relacionada con su privacidad.



## 9. Presupuesto

Tabla 9-1: Presupuesto

**RESPUESTAS FISIOLÓGICAS Y CONTROL DE LA AERONAVE EN  
DESORIENTACION ESPACIAL INDUCIDA EN PILOTOS DE LA FUERZA AEREA  
COLOMBIANA**

1) NOMBRE DEL PROGRAMA EDUCATIVO:		MEDICINA AEROESPACIAL UNAL				
2) DETERMINACIÓN DE COSTOS.						
ÍTEM	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	
1.1	PAPELERÍA	GLOBAL	1	10000	\$ 10.000,00	
1.2	FOTOCOPIAS	GLOBAL	100	70	\$ 7.000,00	
1.3	LIBROS Y ARTICULOS DE REVISTAS	GLOBAL	10	30000	\$ 300.000,00	
1.4	PORTATIL	GLOBAL	1	2000000	\$ 2.000.000,00	
1.5	INTERNET	GLOBAL	6	80000	\$ 480.000,00	
1.6	SOFTWARE	GLOBAL	2	300000	600000	
1.7	IMPREVISTOS	-	2	300000	600000	
<b>1</b>	<b>COSTO MATERIALES DE CLASE</b>				<b>\$ 3.997.000,00</b>	
2.1	ELECTRICIDAD	KILOWATIO	90,8	1500	\$ 136.200,00	
2.2	AGUA	LITRO				
2.3	TELÉFONO	MINUTO	400	200	\$ 80.000,00	
<b>2</b>	<b>COSTO SERVICIOS PÚBLICOS</b>				<b>\$ 136.200,00</b>	
3.1	INVESTIGADOR PRINCIPAL	HORA	300	20000	\$ 6.000.000,00	
3.2	ASESOR METODOLOGICO	HORA	50	40000	\$ 2.000.000,00	
3.3	COINVESTIGADOR	HORA	100	70000	\$ 7.000.000,00	



**Tabla 9 1:** Presupuesto (Continuación)

ÍTEM	DETALLE	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
3.4	MEDICO EVALUADOR	HORA	10	50000	\$ 500.000,00
3.5	INSTRUCTOR 1	HORA	20	15000	\$ 300.000,00
3.6	TECNICO EYE TRACKING	HORA	20	20000	\$ 400.000,00
3.7	ESTADISTICO	HORA	20	70000	\$ 1.400.000,00
<b>3</b>	<b>COSTO MANO DE OBRA</b>				<b>\$ 17.600.000,00</b>
4.1	ENTRENAMIENTO EN SIMULADOR Y EQUIPOS	HORA	40	690500	\$ 27.620.000,00
<b>4</b>	<b>COSTO DE ENTRENAMIENTO DE VUELO</b>				<b>\$ 27.620.000,00</b>
5.1	COMPRA DE MATERIALES	GLOBAL	20	12000	\$ 240.000,00
5.2	ALQUILERES O PRESTAMOS (EYE TRACKING)	GLOBAL	25	80000	\$ 2.000.000,00
5.3	DESCUENTOS O DEVOLUCIONES	-			
5.4	OTROS GASTOS	-			
<b>5</b>	<b>COSTO DE COMPRAS Y ALQUILERES</b>				<b>\$ 2.240.000,00</b>
<b>6</b>	<b>COSTO TOTAL PROGRAMA EDUCATIVO</b>				<b>\$ 51.593.200,00</b>
4) ELABORADO POR: CT. CESAR OLAYA			5) REVISADO POR: TS. ARLEY MAYORGA Administrador Laboratorio de DEA/DIMAE/FAC		

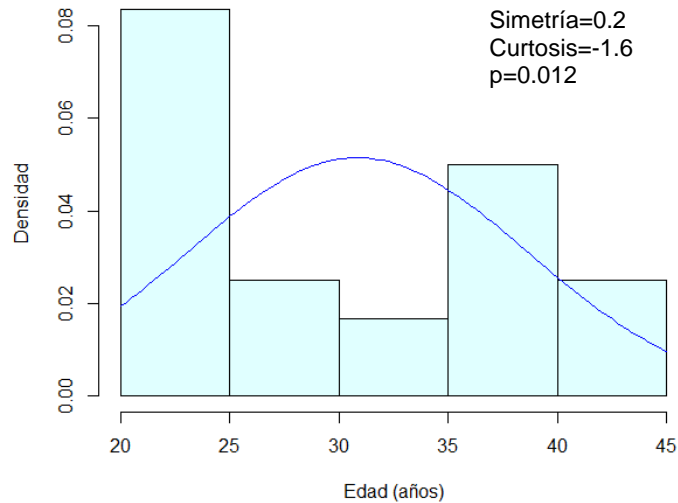
## **10. Resultados**

Teniendo en cuenta que se trata de un estudio exploratorio con participación voluntaria de pilotos y a la falta de información sobre los patrones de escaneo visual de la técnica visual de chequeo cruzado de instrumentos en población colombiana, el análisis estadístico se abordó con metodologías descriptivas y analíticas. Los resultados serán presentados de la siguiente manera: descripción de cada una de las variables de interés y exploración de las posibles relaciones entre las variables independientes (tipo de entrenamiento, total de horas de vuelo, categoría según horas de vuelo) y las variables dependientes (Pérdida de altura, Violación de mínima altura de seguridad MSA, y adecuada técnica visual chequeo cruzado de instrumentos).

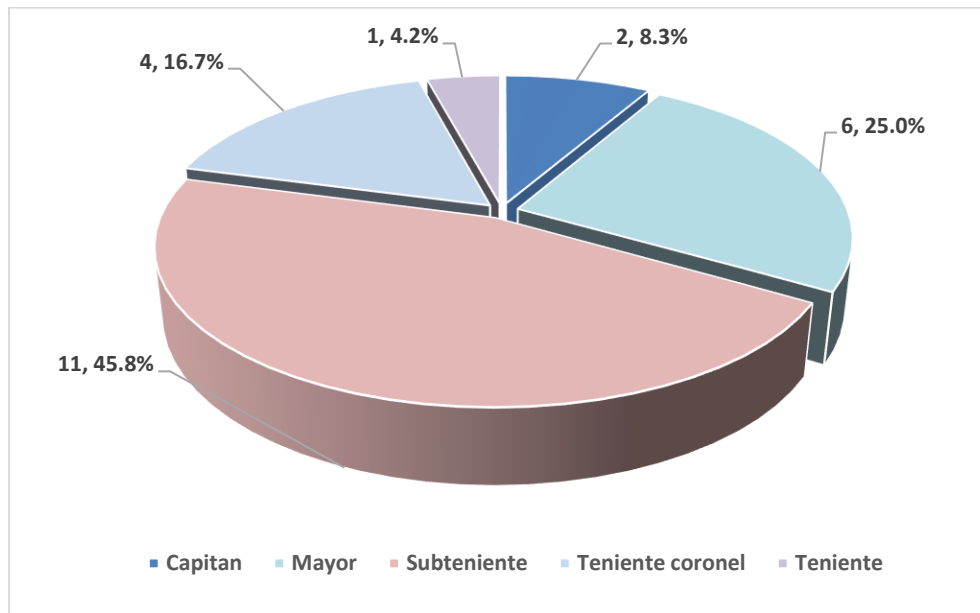
### **10.1 Descripción de la Población**

#### **10.1.1 Descripción sociodemográfica**

Los datos colectados para la variable edad presentaron una distribución no normal que se puede observar por la curva platicúrtica (-1.6) y la ligera asimetría positiva (0.2) en la gráfica de histograma (ver Figura 10-1) y el resultado de prueba de normalidad Shapiro-Wilk ( $p=0.012$ ).

**Figura 10-1:** Histograma edad

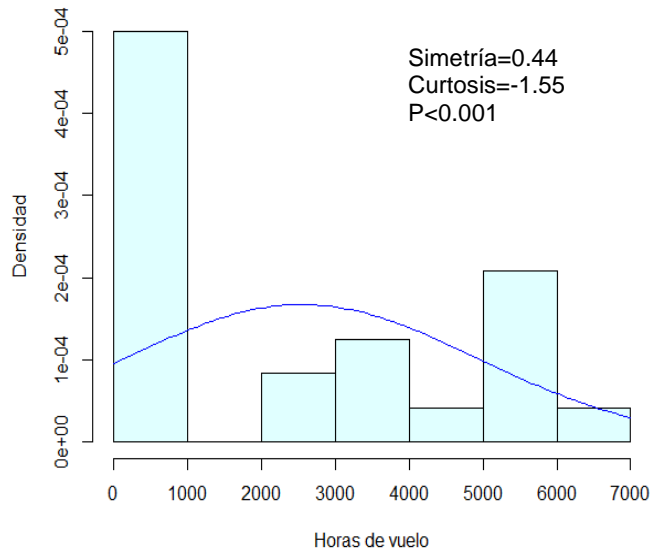
La mediana de la población de estudio fue 29.5 años, el 91.7% (n=22) de los participantes fueron sexo masculino (Tabla 10-1). Con respecto al rango, predominaron el Subteniente (45.8%) seguido de Mayor (25.0%), y teniente coronel (16.7%), como se muestra en **Figura 5**.

**Figura 10-2:** Distribución del rango en los pilotos participantes

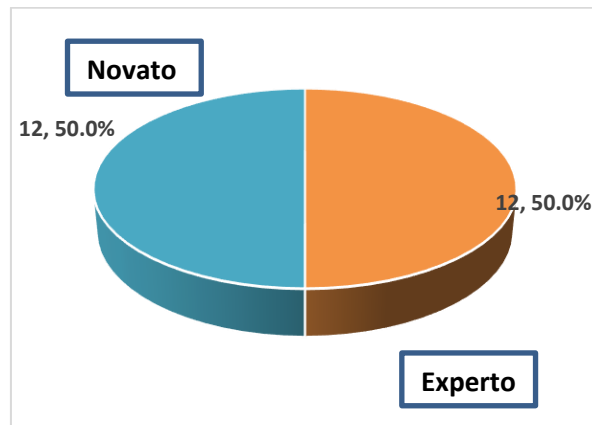
La variable horas de vuelo de los pilotos evaluados, observamos una distribución no normal de los datos por la curva platicúrtica (-1.5) y asimetría positiva (0.5) en la gráfica de

histograma (ver Figura 10-3) y el resultado de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk ( $p < 0.001$ ). La mediana para el tiempo de vuelo de los pilotos fue de 1490 horas, con valores mínimo y máximo de 172 y 6500 horas, respectivamente (ver Tabla 10-1). En el mismo sentido, se realizó la clasificación de los pilotos de acuerdo con el punto de corte de 1.000 horas de vuelo en expertos y novatos; con esta categorización se observó que el 50.0% de la población fue clasificado como Novato (Figura 10-4).

**Figura 10-3:** Histograma Horas de vuelo

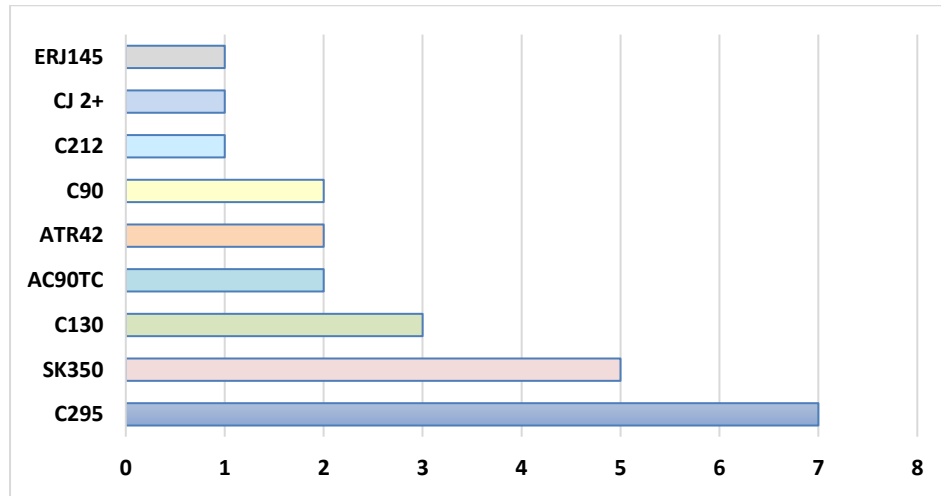


**Figura 10-4:** Experiencia de los pilotos



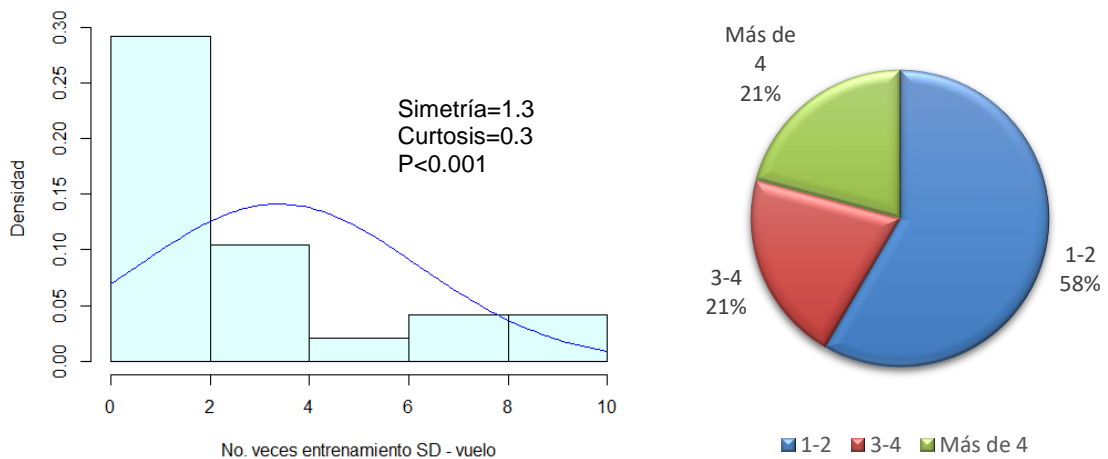
Los participantes reportaron 9 tipos diferentes de equipo de vuelo actual, siendo la más predominantes el tipo C295 (29.2%) y SK350 (20.8%), como se muestra en la Figura 10-5.

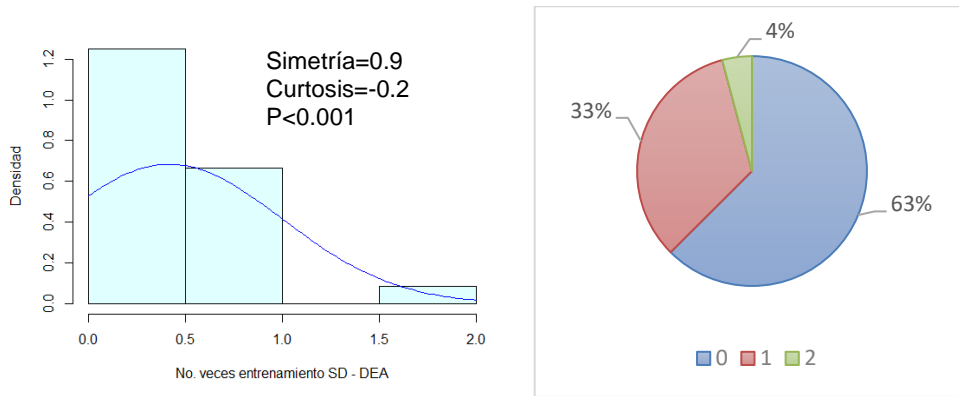
**Figura 10-5:** Tipo de equipo de vuelo actual



Con respecto al número de entrenamientos que han recibido los pilotos en desorientación espacial, observamos una distribución de los datos no normal en las curvas de los histogramas con asimetría positiva (1.3 y 0.9 para entrenamientos en vuelo y DEA, respectivamente) y los resultados de la prueba de evaluación de normalidad que rechazan la  $H_0$  de distribución normal ( $p < 0,001$ ), como se muestra en la Figura 10-6 y Figura 10-7. Los pilotos reportaron una mediana de 2 en el número de entrenamientos de SD en vuelo, con valores mínimo y máximo de 1.0 y 10.0, respectivamente. Por su parte, la mediana del número de entrenamientos SD en DEA fue 0.0 con un máximo de 2.0 (ver Tabla 10-1)

**Figura 10-6:** Número de veces entrenamiento SD - vuelo



**Figura 10-7:** Número de veces entrenamiento SD - DEA**Tabla 10-1:** Descripción demográfica y experiencia en vuelo de los pilotos

Variable n (%)	Resultados
Edad (años) <sup>1</sup>	29.5 (21-44)
Género	
Masculino	22 (91.7%)
Femenino	2 (8.3%)
Rango	
Teniente coronel	4 (16.7%)
Capitán	2 (8.3%)
Mayor	6 (25.0%)
Teniente	1 (4.25%)
Subteniente	11 (45.8%)
Total horas de vuelo <sup>1</sup>	1490 (172.0-6500.0)
Experiencia	
Novato	12 (50.0%)
Experto	12 (50.0%)
No. veces entrenamiento de SD - Vuelo	2.0 (1.0-10.0)
No. veces entrenamiento SD - DEA	0.0 (0.0-2.0)

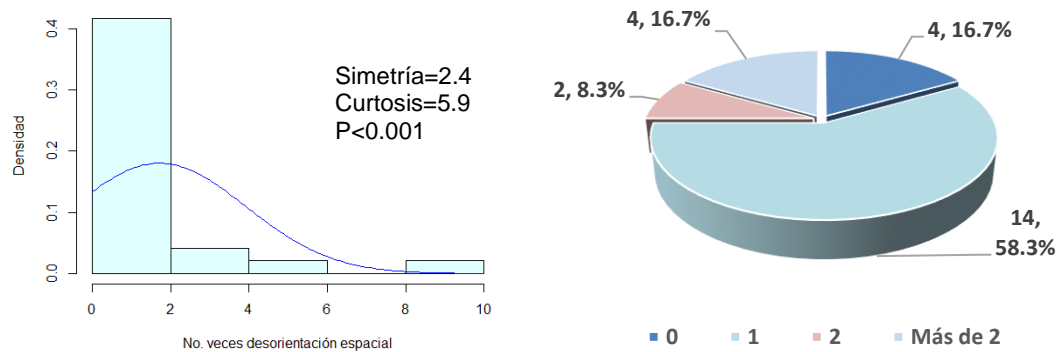
<sup>1</sup> Mediana (min-máx).

### 10.1.2 Caracterización del antecedente de desorientación espacial presentada en vuelo

Los datos colectados para el reporte de numero de eventos de desorientación espacial, presentaron una distribución no normal que se puede observar por la curva letocúrtica (5.9) y asimetría positiva (2.4) en la gráfica de histograma (ver **Figura 11**) y el resultado de prueba de normalidad Shapiro-Wilk ( $p<0.001$ ).

El 83.3% de los pilotos han experimentado al menos 1 episodio de desorientación espacial reconocido durante el vuelo. El 58% lo han hecho 1 vez, 8% en dos ocasiones, y el 17% en más de 2 veces (Figura 10-8). Curiosamente, uno de los pilotos ha experimentado 10 episodios de SD (Tabla 10-2).

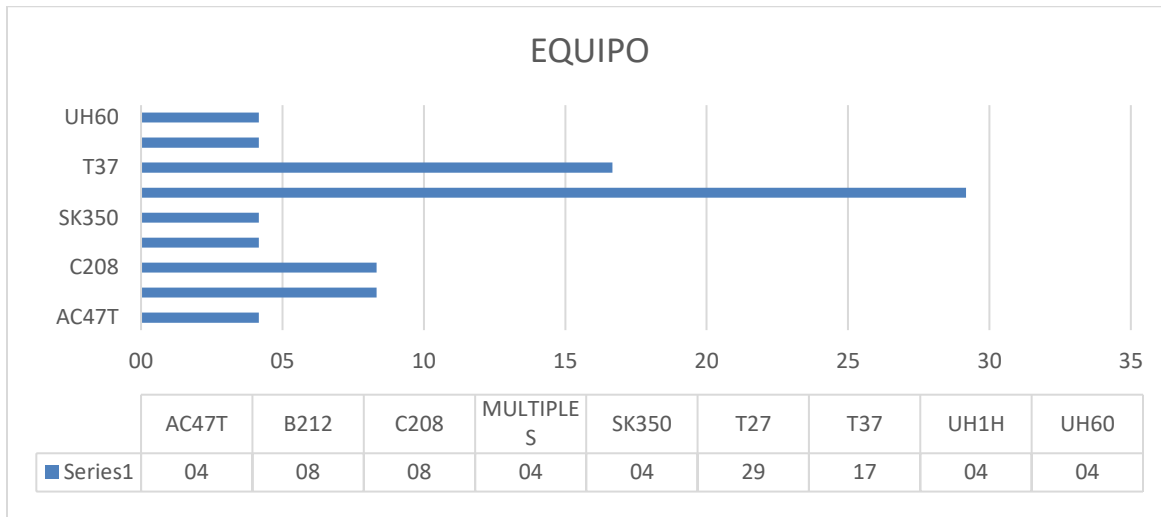
**Figura 10-8:** Histograma número de veces desorientación espacial en vuelo



**Tabla 10-2:** Incidencia de SD en la población

Presentó SD	SI		NO	
	83.30%		16.70%	
Veces SD	0	1	2	>2
	16.70%	58.30%	8.30%	16.70%

Con respecto al equipo en el que experimentaron el SD, el T27 y T37 fueron los más frecuentes, 29.2% y 16.7%, respectivamente (Figura 10-9).

**Figura 10-9:** Tipo equipo experimentaron SD

### 10.1.3 Caracterización del grupo que presento SD en la población

El grupo que presentó desorientación espacial en vuelo ( $n=20$ ), mostraron las siguientes características; el 100.0% había recibido entrenamiento en de SD en vuelo y el 70% nunca había recibido entrenamiento en simulador DEA (ver Tabla 10-3); al menos el 50.0% fueron novatos; El 55.0% fue en equipos de vuelo de entrenamiento T 27 y T-37 con un 35.0% y 20.0% respectivamente; las condiciones meteorológicas del vuelo fueron del 60.0% VMC y del 40.0 % IMC (Figura 3-1); el 100.0% de los pilotos refirieron presentar un SD tipo 2 reconocida. El rol al momento de desorientarse fue de Alumno con 45.0%, seguido de piloto con 35.0%, y de Copiloto con un 20.0%. Conjuntamente se clasificó la severidad del episodio en la misión como: leve en un 70.0%, Episodio moderado con un 25.0% y de Episodio grave con un 5.0% (**Figura 14**). El reporte del grupo de SD en vuelo fue del 20.0%.

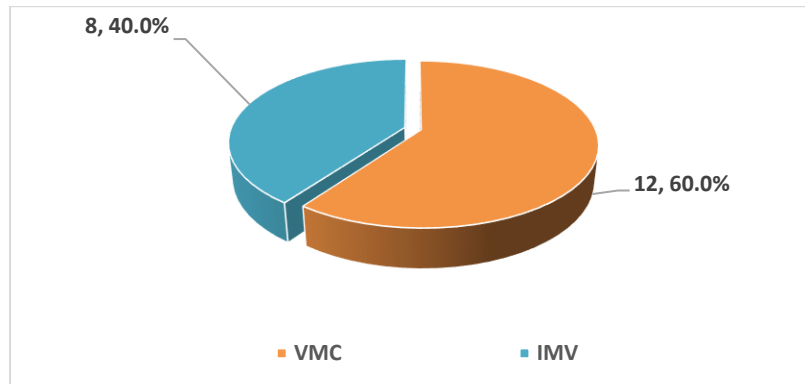
**Tabla 10-3:** Caracterización del grupo que presento SD en la población

Reconocida	SI		NO
	100.0%		0.0%
Condiciones Meteo	VMC		IMC
	60.0%		40.0%
Clasificación Severidad	Leve	Moderada	Grave
	70.0%	25%	5.0%
Rol en Cabina	AL	PIL	COP
	45.0%	35%	20.0%

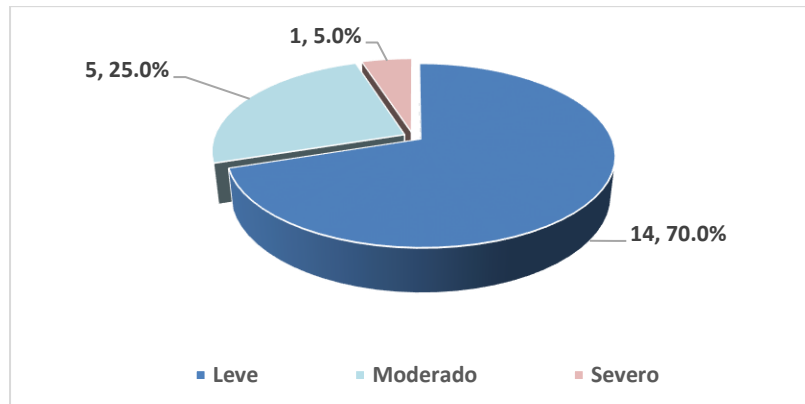


Equipo	T27	T37	C208
	35.0%	20.0%	10.0%
Reporte de SD	SI		NO
	20.0%		80.0%

**Figura 10-10:** Condiciones IMC-VMC



**Figura 10-11:** Severidad del SD

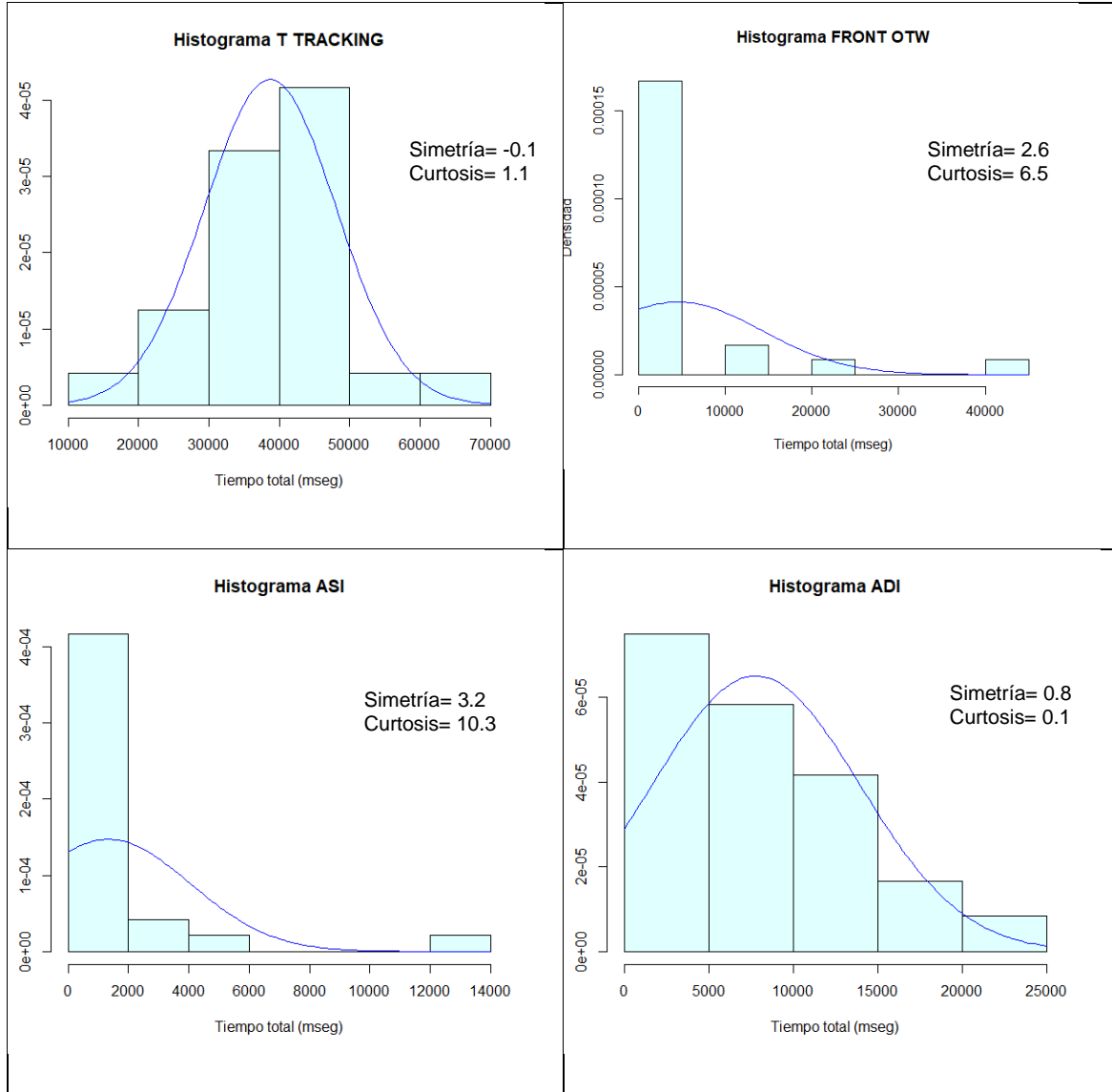


### 10.1.4 Resultados de los tiempos de escaneo instrumentos registrados por el *Eye-Tracker*

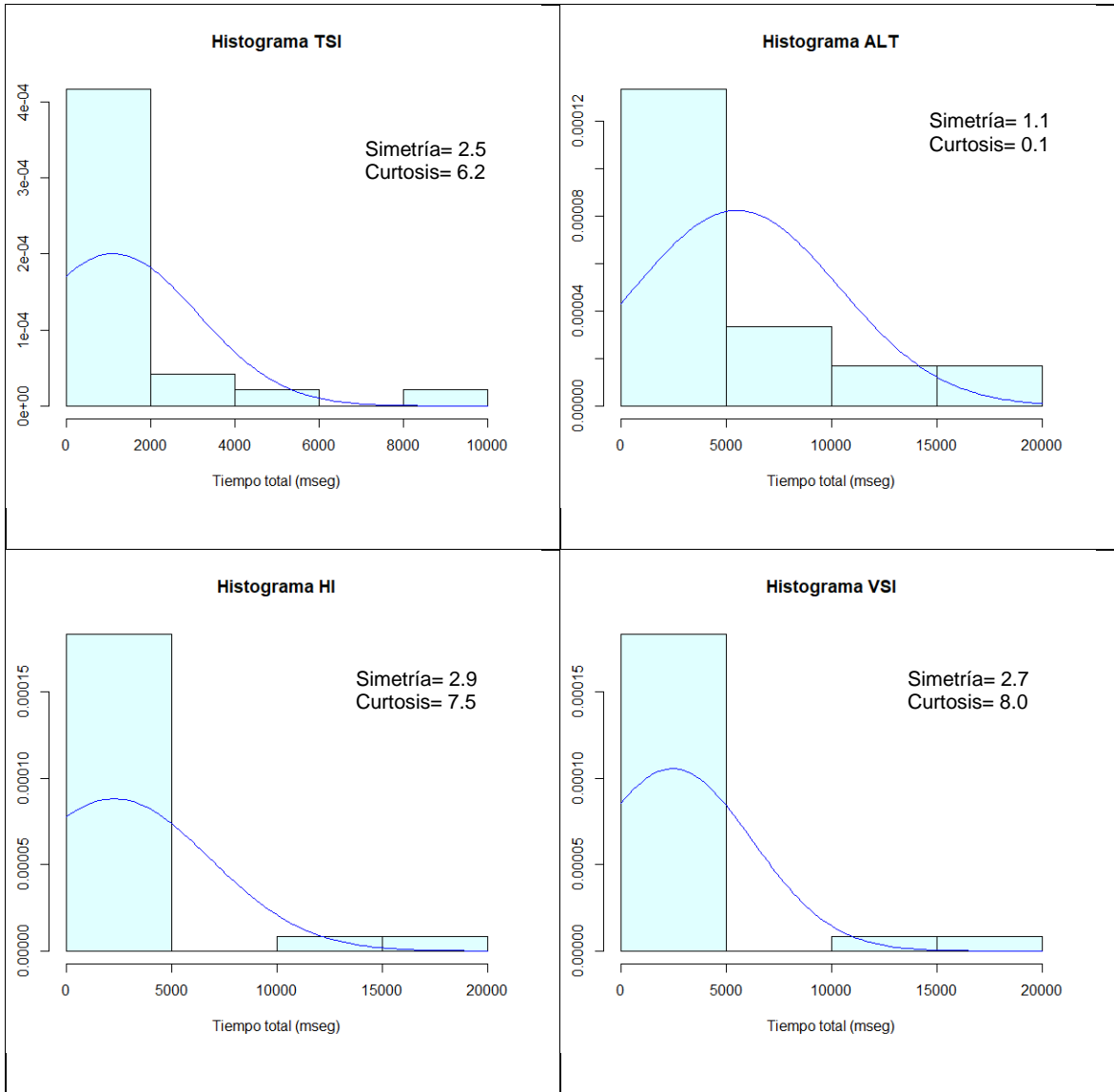
En general los resultados de los tiempos de fijación para los instrumentos de interés, redundantes y ruido muestran una distribución anormal evidenciada por los histogramas y los resultados de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, excepto, por el tiempo de fijación total del instrumento ADI ( $p=0.09$ ) (ver Tabla 10-4). La simetría de los histogramas que predominó fue la positiva, conservándose las curvas con cola a la derecha. Se observaron

curvas leptocurtícas para tiempo total TRACKING, FRONT OTW, ALT, ASI, TSI, HI, VSI (curtosis>0).

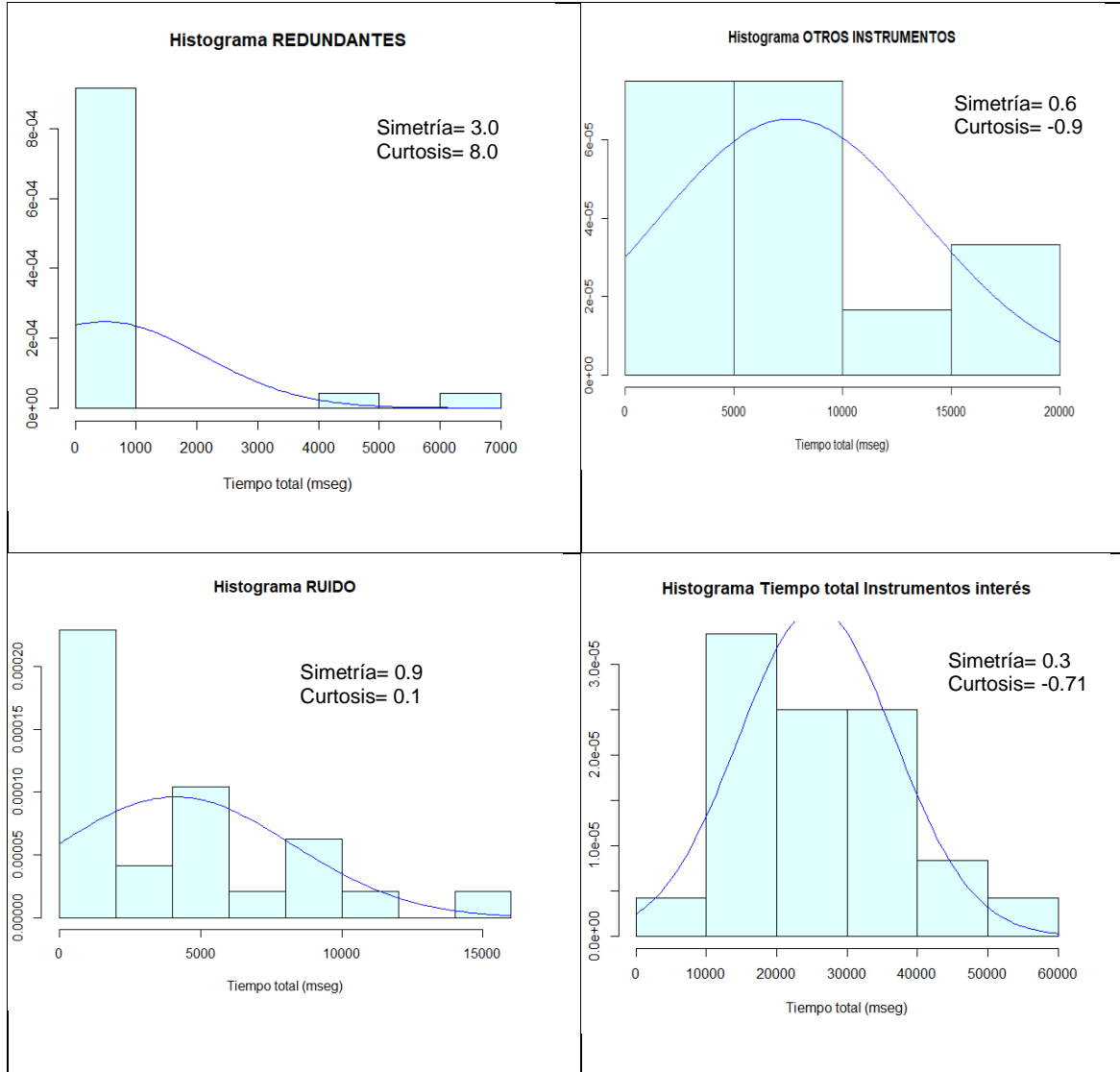
**Tabla 10-4:** Histogramas resultados tiempo de escaneo instrumentos registrados



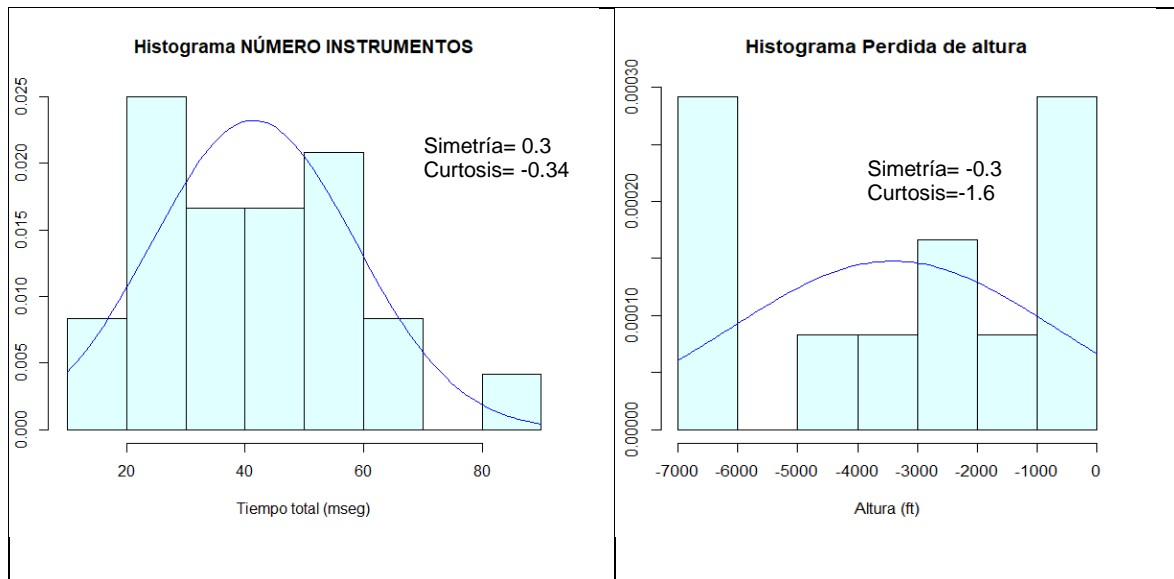
**Tabla 10 4:** Histogramas resultados tiempo de escaneo instrumentos registrados  
(Continuación)



**Tabla 10 4:** Histogramas resultados tiempo de escaneo instrumentos registrados (Continuación)



**Tabla 10 4:** Histogramas resultados tiempo de escaneo instrumentos registrados (Continuación)



En la duración total del tracking se observó una mediana de 40117 milisegundos (min-máx: 18818-63265) para el tiempo total de escaneo. Específicamente, los instrumentos con mayor tiempo de fijación fueron ADI (7806 ms  $\pm$ 6128.2), ALT (mediana= 3861 ms, min=0, máx=17750), y VSI (mediana= 1304 ms, min=0, máx== 17629.0) (ver **Tabla 6**). La media del tiempo total utilizado para escanear los 7 instrumentos de interés fue 25658 ms (DS=11031.7).

**Tabla 10-5:** Descripción resultados tiempo de fijación registrados por el *Eye-Tracker*

Tiempo fijación (ms)	Mediana (RIC)	Mínimo	Máximo	Normalidad Shapiro- Wilk (valor p)
Total Tracking	40117 (2066)	18818	63265	<0.001
FRONT OTW	346,5 (4594,5)	0	41577	<0.001
ASI	495 (1336)	0	12732	<0.001
ADI	<b>7806<math>\pm</math>6128.2*</b>	0	24187	<b>0.09</b>
TSI	462,5 (1130,2)	0	8670	<0.001
ALT	<b>3861 (5920)</b>	0	17750	0.004
HI	905 (2119,8)	0	19922	<0.001
VSI	<b>1304 (2820,5)</b>	0	17629	<0.001
Redundante	0.00 (0)	0	6768.4	<0.001
Otros instrumentos	6268 (7878)	365	19173	0.018

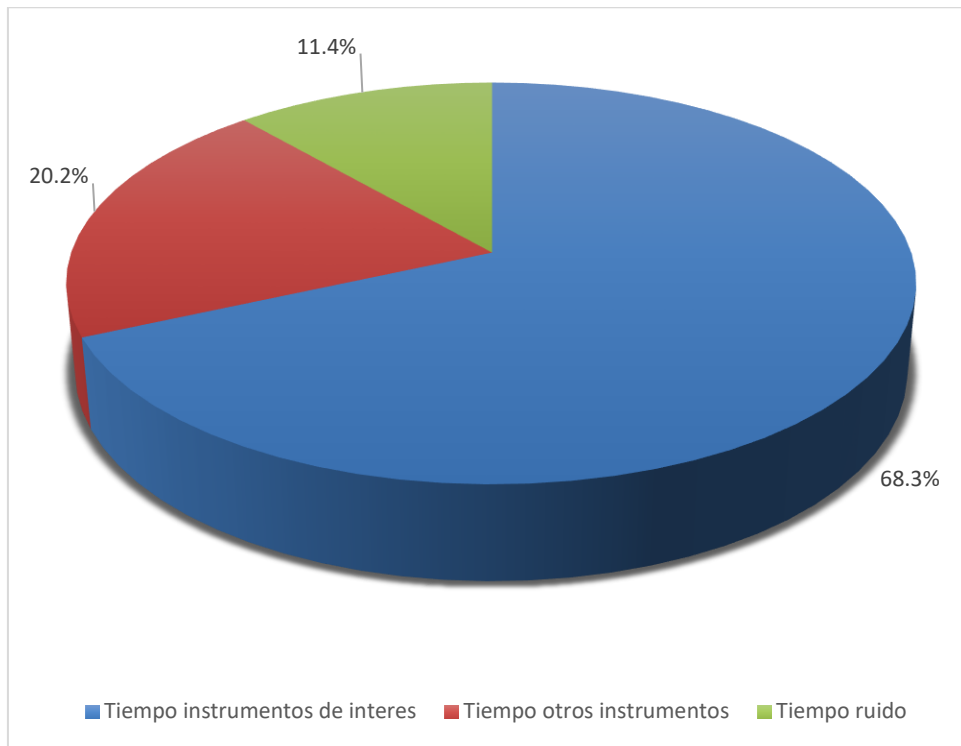
**Tabla 10 5:** Descripción resultados tiempo de fijación registrados por el Eye-Tracker (Continuación)

Tiempo fijación (ms)	Mediana (RIC)	Mínimo	Máximo	Normalidad Shapiro-Wilk (valor p)
Ruido	2227 (5014)	0	15477	0.004
Total, instrumentos de interés	25658±11031.7*	6898	50095	<b>0.871</b>
No. instrumentos escaneados	41.5±17.2*	10	84	<b>0.846</b>
Perdida altitud absoluta	2750 (6125)	150	7000	0.001

\*Media±DS. RIC: rango intercuartílico. DS: Desviación estándar

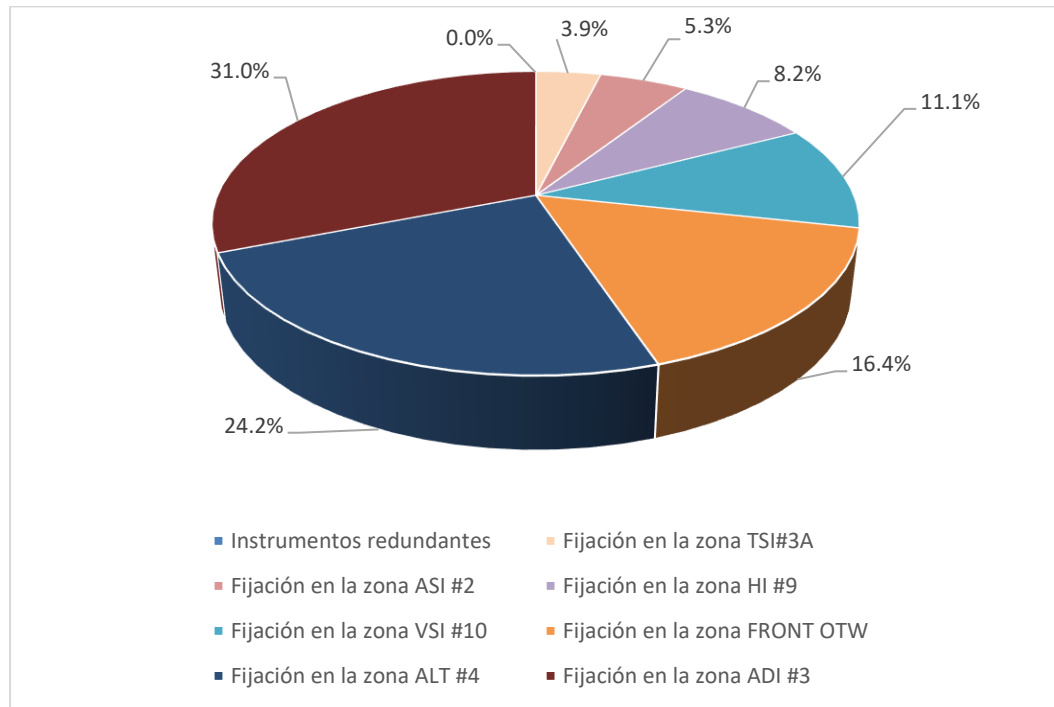
Es resaltar, que los pilotos emplearon el 20.2 % del tiempo de registro del Eye-Tracker en el escaneo de otros instrumentos ajenos a los de nuestro interés durante la prueba (Figura 16). El 68.3% del tiempo total de fijación fue en los instrumentos de interés o área de interés.

**Figura 10-12:** Distribución tiempos registrado por *Eye-Tracker*



Dentro del tiempo dedicado a fijación en los instrumentos de interés, el instrumento en que en promedio los pilotos hicieron más fijaciones fue en el ADI con un 31% (ver **Figura 17**). El segundo instrumento que en promedio reportó más fijaciones es el ALT con un 24.2%,

**Figura 10-13:** Uso de instrumentos durante la prueba ajustado con tiempo de instrumentos de interés



Por otra parte, se evidencia (Figura 18) que los pilotos denominados expertos tienen en promedio mayor tiempo de fijación predominantemente en instrumentos superiores (ADI, ALT, FRONT) y en los pilotos novatos se observó un mayor tiempo de fijaciones predominantemente en instrumentos izquierdo e inferior (ALT, ADI, VSI). El tiempo de fijaciones sobre "OTROS instrumentos de no interés" fue mayor en los pilotos novatos que en los expertos. También, los pilotos expertos se fijaron en promedio más en los instrumentos TSI, ASI, Front y ADI que los novatos. Conjuntamente, los instrumentos redundantes en promedio tuvieron más fijaciones por los novatos al igual que el HI. Es de destacar el número de fijaciones en instrumentos de no interés por parte de ambos grupos pero de predominio en el grupo menos experimentado (Figura 10-15)

Figura 10-14: Ploteo fijaciones en instrumentos de interés

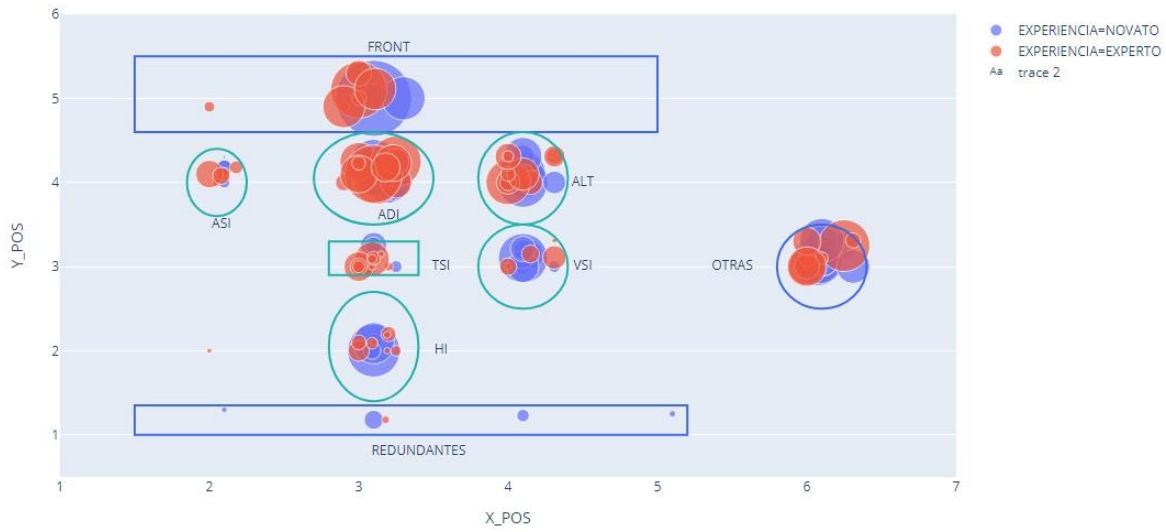
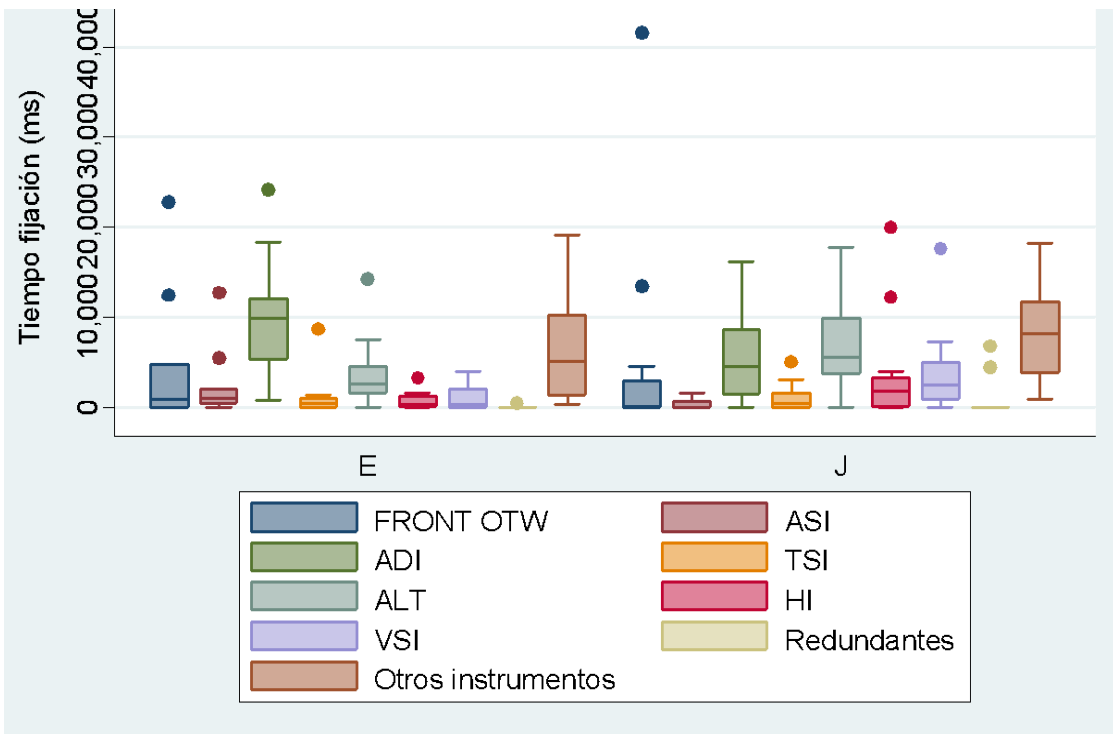


Figura 10-15: Box plot de comparación tiempo de fijación instrumentos Novatos expertos





**Tabla 10-6:** Diferencias tiempo de fijación instrumentos entre población Novatos Vs Expertos

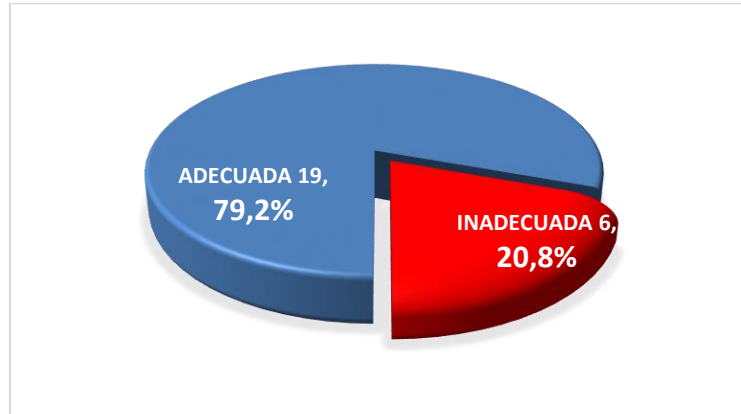
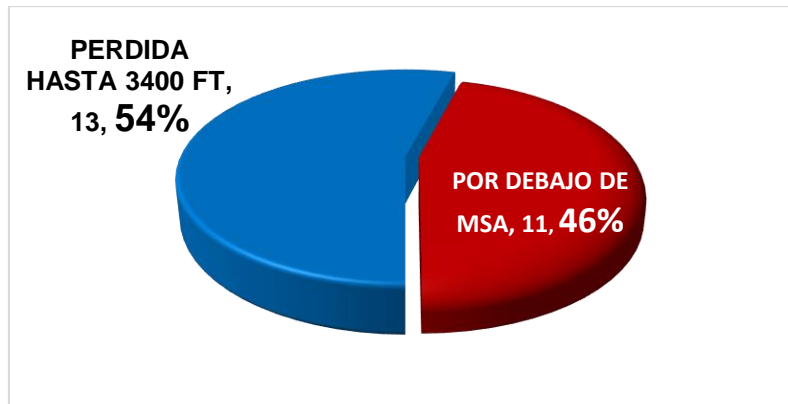
Tiempo de fijación instrumentos (ms) Mediana (min-máx)	Experiencia Pilotos		Valor p <sup>2</sup>
	Novatos (n=12)	Experto(n=12)	
FRONT	165(0-41557)	990(0-22806)	0.697
ASI	33 (0-1683)	1023(0-12732)	<b>0.034</b>
ADI <sup>1</sup>	5896,8±5033,9	9742,7±6708,2	0,126 <sup>3</sup>
TSI	462,5(0-5049)	(478,5(0-8670)	0.906
ALT	5612,5(0-17750)	2638(0-14190)	0.078
HI	1765,5(0-19922)	363,5(0-3197)	0.191
VSI	2538,5(0-17629)	346,5(0-4020)	<b>0.042</b>
REDUNDANTES	0(0-6768,4)	0(0-463,9)	0.482
OTROS INSTRUMENTOS	8202,5(892-18240)	196(365-19173)	0.488

<sup>1</sup>Media±DE. <sup>2</sup>Prueba suma de rangos. <sup>3</sup>Prueba T student

Se puede observar que no hay diferencias estadísticamente significativas en el tiempo de fijación sobre los instrumentos de interés del estudio entre los dos grupos. Ver Tabla 10-6.

Observamos que el 79.2% (n=19) de los pilotos realizaron una técnica visual de chequeo adecuada, según la evaluación de los videos con los patrones de escáner del *Eye-Tracker* por parte de un experto instructor en vuelo por instrumentos, basándose para este dictamen en los archivos de cada piloto del estudio que incluyen: los videos de rastreo de puntos de fijación registrados por el *Eye-Tracker*, resultados en imágenes ilustradas mediante líneas de las 4 más frecuentes confrontaciones entre instrumentos de control y comportamiento; así mismo en los datos suministrados por el algoritmo del *Eye-Tracker TOBII 1.0*, de tiempo de fijaciones en milisegundos en los instrumentos de interés y de no interés (ver Figura 10-16).

Por otra parte, al realizar la clasificación mediante el punto de corte de -3400 ft en pérdida de altura, evidenciamos que el 45.8% (n=11) violaron la mínima altura del sector (MSA) (ver Figura 10-17).

**Figura 10-16:** Técnica Visual de Chequeo cruzado de instrumentos**Figura 10-17:** Perdida de altura hasta la altura mínima del sector.

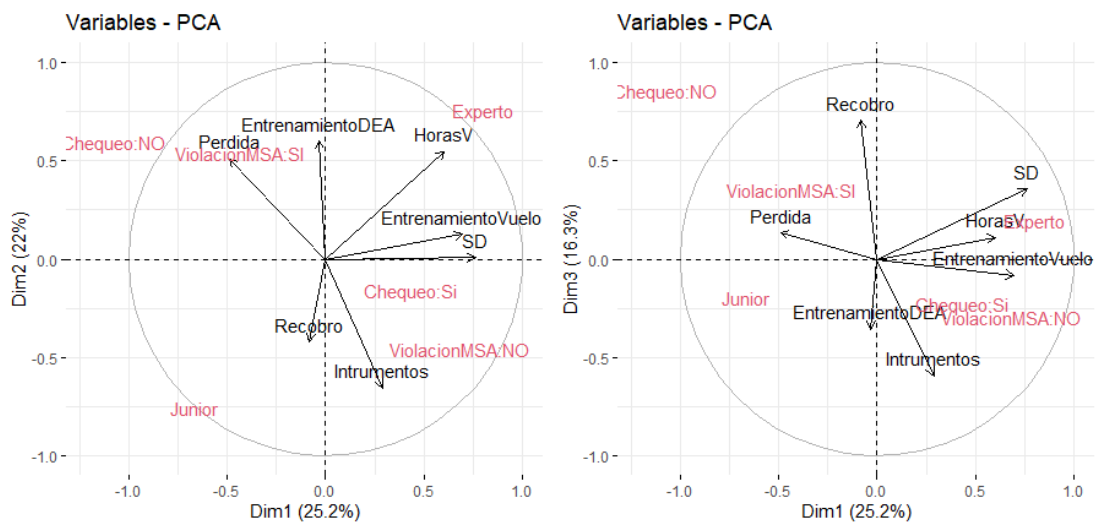
## 10.2 Estadísticas multivariadas

### 10.2.1 Relaciones Entre las Variables.

A continuación, se llevó a cabo un análisis de componentes principales una técnica multivariada que tiene como objetivo encontrar relaciones entre variables cuantitativas y cualitativas a fin de lograr una posible reducción de la dimensionalidad. El objetivo de este análisis en este estudio solo es el de encontrar relaciones entre las variables, por lo que enseguida se presentan el primer y segundo plano factorial, con ellos se podrán interpretar las relaciones conjuntas las siguientes variables del estudio: Total horas de vuelo (HorasV), entrenamiento de desorientación espacial en vuelo (EntrenamientoVuelo), entrenamiento de desorientación espacial en DEA (EntrenamientoDEA), cuantas veces ha sufrido de

desorientación espacial (SD), número de instrumentos chequeados durante la prueba (Instrumentos), tiempo de recobro de la aeronave (recobro), violación MSA (ViolaciónMSA) y pérdida de altura (Pérdida) . Una vez realizado el análisis, sugiere que las variables pueden ser resumidas principalmente en 3 dimensiones, enseguida se muestran el primer y segundo plano factorial (ver Figura 10-18), la interpretación es que entre más cerca estén las variables están más relacionadas directamente y entre más cercano se encuentren a formar un ángulo de 180 ° entonces están más relacionadas inversamente.

**Figura 10-18:** Primer y segundo plano factorial



De la Figura 10-18 podemos interpretar que la cantidad de instrumentos chequeados en la prueba es inversamente proporcional a la pérdida de altitud, es decir, que a mayor cantidad de instrumentos revisados, menor es la pérdida de la altitud, además, el tiempo de recobro de la nave está inversamente correlacionado con el número total de instrumentos chequeados, es decir, entre más instrumentos haya chequeado el piloto menos tiempo necesitará para recobrar la nave, por otro lado, el número de veces que el piloto ha sufrido desorientación aeroespacial está directamente asociada con la cantidad de entrenamientos de desorientación espacial en vuelos y el número total de horas de vuelo, y además estas tres últimas están inversamente correlacionadas con la pérdida de altitud, entonces entre más horas de vuelo, hay más entrenamientos de desorientación y más eventos de desorientación, pero a su vez la pérdida de altitud de la aeronave se ve reducida. Es de anotar que, dado que el chequeo adecuado de instrumentos, la violación

de la MSA y categoría según las horas de vuelo son variables discretas, aparecen en rojo en la Figura 10-18.

La interpretación es similar a las de las variables cuantitativas, entre más cercanas estén más relación se tiene, y si están opuestas en el plano es una relación negativa. Por tanto, se observa que los pilotos que tienen una categoría de experto son los que tienen más horas de vuelo, más entrenamientos en vuelo y más eventos de desorientación, mientras que los pilotos de categoría novatos tienen menos horas de vuelo y más pérdida de altitud. Para la variable de violación de la MSA, los pilotos que sobrepasan este límite son los que presentan un número de fijaciones de instrumentos baja y mayor pérdida. También se observa que para la variable de chequeo, sugiere que los que no tienen un chequeo adecuado tienen un mayor tiempo de recobro de la aeronave, menos horas totales de vuelo, menos entrenamientos en vuelo y más entrenamientos en DEA, mientras los que si tienen un chequeo adecuado hay una tendencia a ser los sujetos con más horas totales de vuelo, más entrenamientos, tienen un alto número de fijaciones de instrumentos. Por último, la relación entre las variables categóricas sugiere que los que tienen un chequeo adecuado de instrumentos son los que no violan el límite de la MSA, mientras los pilotos que si lo violan son los que no tienen un chequeo adecuado de los instrumentos.

## **10.3 Evaluación analítica de los resultados (bivariado)**

### **10.3.1 Resultados según pérdida de altura (V. continua)**

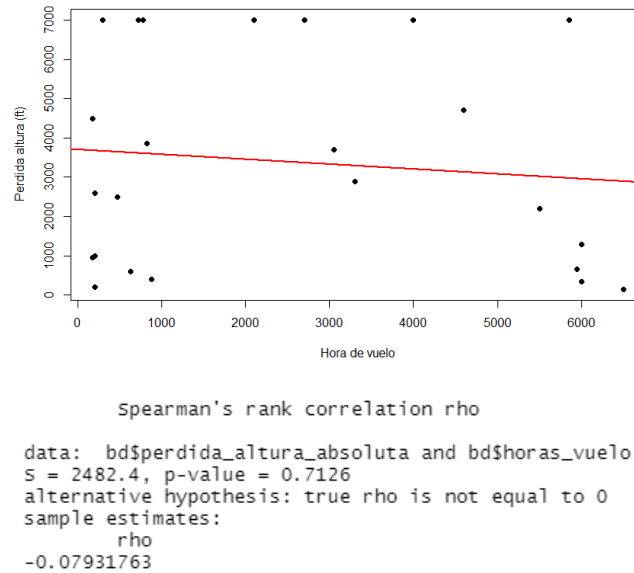
#### **▪ Según horas de vuelo (V. continua)**

Ho: No correlación entre variable Horas de vuelo y pérdida de altura

Tipo prueba: Correlación Spearman (Datos distribución no normal)

Bajo la hipótesis de que la pérdida de altura sería menor en los pilotos con más horas de vuelo, observamos que no hay una correlación entre estas variables significativa ( $r$  Spearman=-0.08,  $p=0.7126$ ) (ver Figura 10-19). Es decir, no rechaza la Ho de no correlación ( $p>0.05$ ).

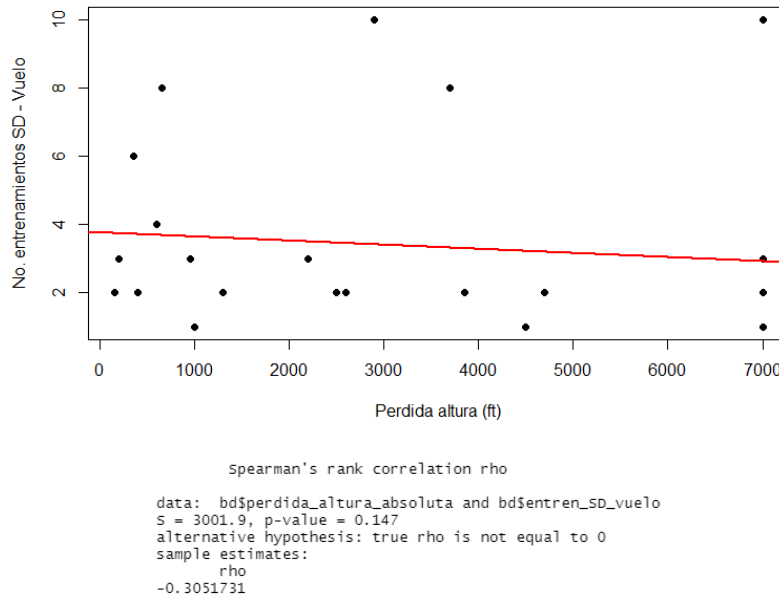
**Figura 10-19:** Perdida absoluta de altura por horas de vuelo



▪ **Según No. Veces entrenamiento SD- Vuelo (V. continua)**

Ho: No correlación entre variable perdida de altura y No. Veces entrenamiento SD- Vuelo  
 Tipo prueba: Correlación Spearman (Datos distribución no normal), (r Spearman=-0.3, p=0.14). Observamos una correlación negativa no significativa entre número de entrenamientos SD en vuelo y perdida de altura absoluta (ver Figura 10-20).

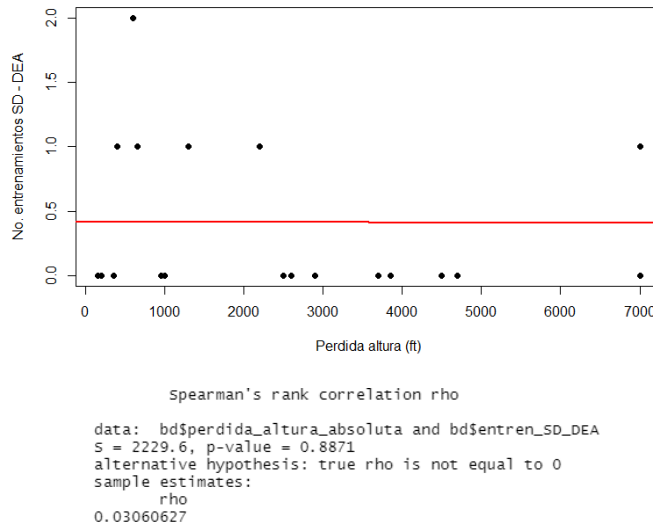
**Figura 10-20:** Perdida absoluta de altura por No. entrenamientos SD – Vuelo



▪ **Según No. Veces entrenamiento SD- DEA (V. continua)**

Ho: No correlación entre variable perdida de altura y No. Veces entrenamiento SD- DEA  
 Tipo prueba: Correlación Spearman (Datos distribución no normal) ( $r$  Spearman=-0.03,  $p=0.88$ ). Observamos un coeficiente de correlación casi igual a cero entre número de entrenamientos SD en vuelo y perdida de altura absoluta (ver Figura 10-21). No se evidencia alguna señal de relación entre las variables evaluadas.

**Figura 10-21:**Perdida absoluta de altura por No. entrenamientos SD - DEA



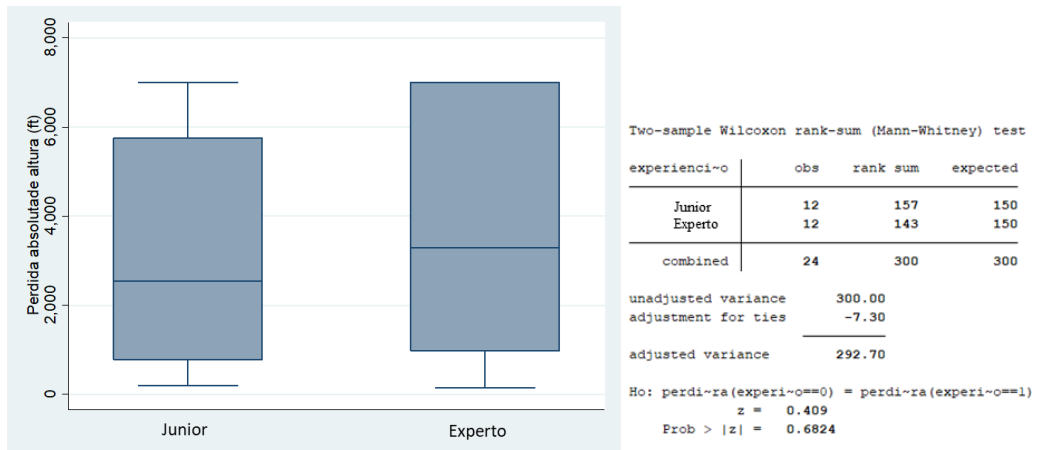
▪ **Según experiencia de pilotos (V. discreta)**

Ho: No diferencia en la suma de rangos de la variable perdida de altura según la experiencia de los pilotos

Tipo prueba: Suma de rangos (Mann-Whitney) (Datos distribución no normal)

La pérdida de altura fue mayor en los pilotos con la experiencia de vuelo mayor de 1000 horas (ver Figura 10-22). Las medianas fueron 2550 ft (min-máx=200-7000) y 3300 ft (min-máx=150-7000) para los pilotos novatos y expertos, respectivamente. No obstante, en la evaluación de la Ho de no diferencias entre los grupos por la prueba de suma de rangos observamos un valor  $p=0.6824$ . Lo anterior, indica que aceptamos la hipótesis de no diferencia en la perdida de altura de acuerdo con la experiencia de los pilotos.

**Figura 10-22:** Perdida altura según Experiencia pilotos



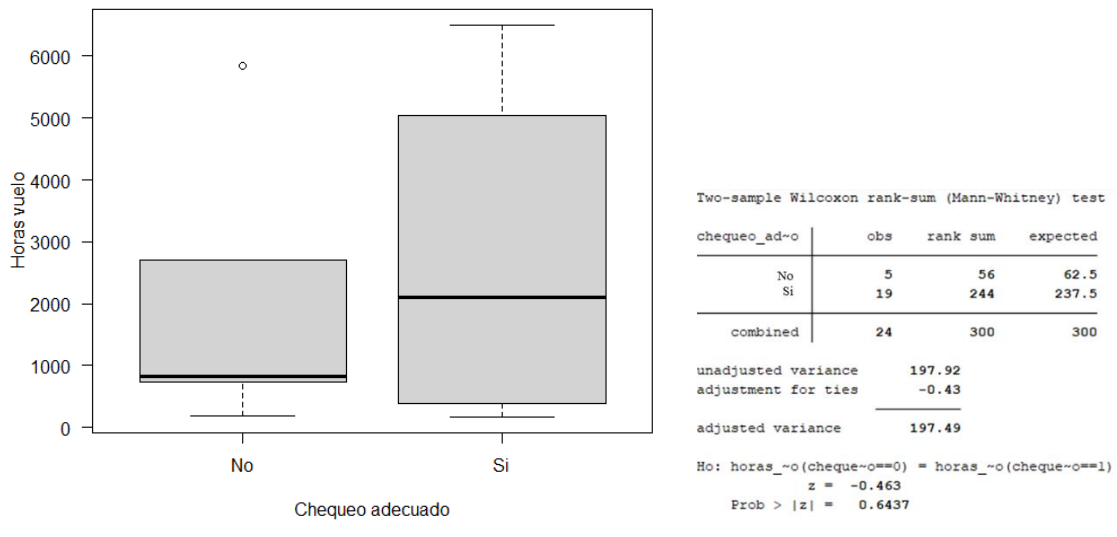
### 10.3.2 Resultados según el desenlace de técnica chequeo cruzado adecuada (V. discreta).

▪ Según horas de vuelo (V. Continua)

Ho: No diferencia en la suma de rangos de la variable horas de vuelo y la chequeo visual cruzado adecuado

Tipo prueba: Suma de rangos (Mann-Whitney) (Datos distribución no normal)

**Figura 10-23:** Horas de vuelo según chequeo cruzado



En la evaluación de diferencias en las horas de vuelo y el desenlace de técnica de chequeo visual adecuada, se observa que en aquellos con técnica de chequeo adecuada tenían antecedente de más horas de vuelo (Ver Figura 10-23). Las medianas fueron 2100h (min-máx=172-6500) y 819 h (min-máx=180-5850) para quienes tuvieron un resultado de técnica de chequeo adecuada y no adecuada, respectivamente. Sin embargo, en la prueba estadística de suma de rangos se acepta la  $H_0$  de no diferencia ( $p= 0.6437$ ).

▪ **Según Clasificación experiencia de los pilotos (V. discreta)**

$H_0$ : No hay relación entre las variables experiencia de los pilotos y el chequeo visual cruzado adecuado

Tipo prueba: Exacta de Fisher

**Figura 10-24:** Clasificación experiencia de los pilotos

experiencia_piloto	chequeo_adecuado		Total
	No	Si	
Junior	3 25.00	9 75.00	12 100.00
Experto	2 16.67	10 83.33	12 100.00
Total	5 20.83	19 79.17	24 100.00

Fisher's exact = 1.000  
1-sided Fisher's exact = 0.500

El 83.0% (10/12) de los pilotos clasificados como “Expertos” realizaron una técnica de chequeo adecuada, mientras que en los pilotos “Novatos” lo hicieron el 75.0% de ellos (Tabla 10-6). Mediante la prueba Exacta de Fisher, evaluamos la posible relación entre la experiencia con el resultado de la prueba de chequeo adecuada, observándose un valor  $p$  que acepta la  $H_0$  ( $p=1.000$ ).

▪ **Según entrenamientos de SD en vuelo (V. Continua)**

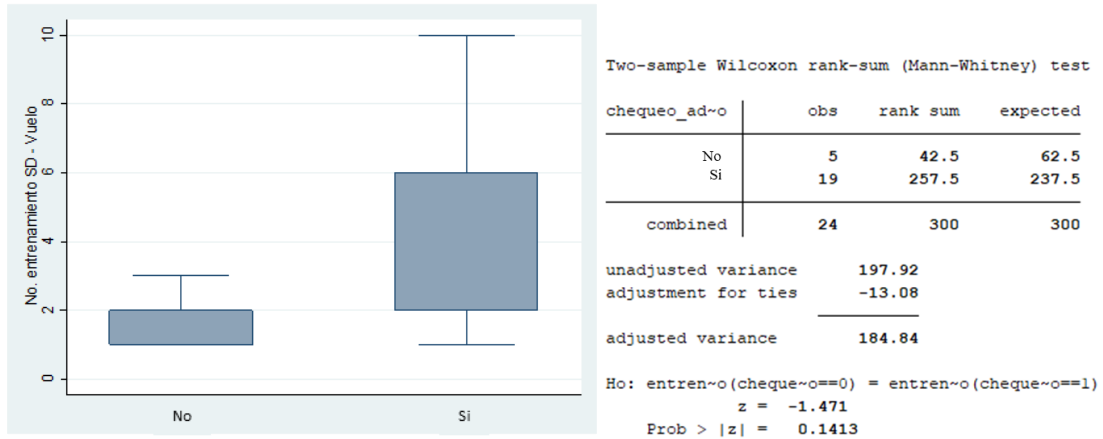
$H_0$ : No diferencia en la suma de rangos de la variable entrenamientos de SD en vuelo y la chequeo visual cruzado adecuado

Tipo prueba: Suma de rangos (Mann-Whitney) (Datos distribución no normal)



Se acepta  $H_0$  de no diferencia ( $p=0.1413$ ) en el número de entrenamientos SD en vuelo y la técnica de chequeo visual adecuado mediante la prueba suma de rangos (ver Figura 10-25).

**Figura 10-25:** Entrenamientos SD -Vuelo y técnica de chequeo adecuada



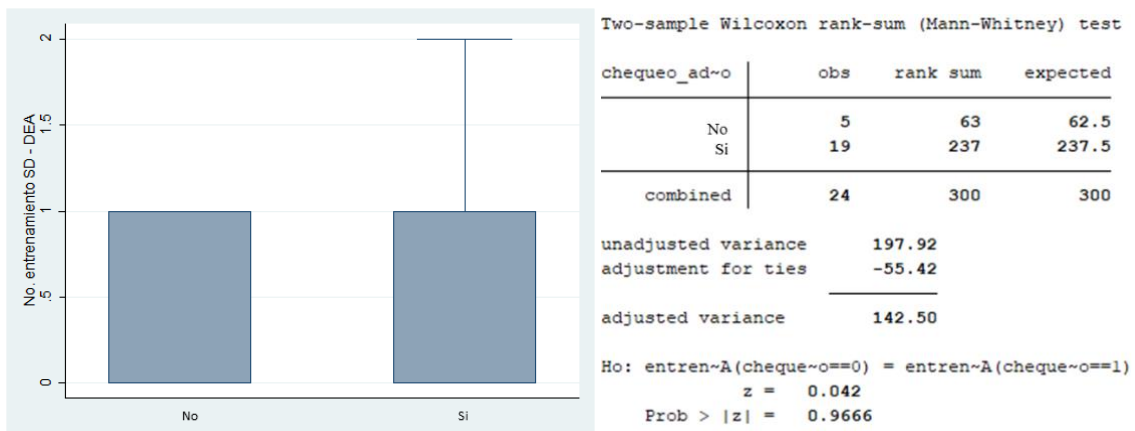
▪ **Según entrenamientos de SD en DEA (V. Continua)**

$H_0$ : No diferencia en la suma de rangos de la variable entrenamientos de SD en DEA y la chequeo visual cruzado adecuado

Tipo prueba: Suma de rangos (Mann-Whitney) (Datos distribución no normal)

Se acepta  $H_0$  de no diferencia ( $p=0.966$ ) en el número de entrenamientos SD en DEA y la técnica de chequeo visual adecuado mediante la prueba suma de rangos (ver Figura 10-26).

**Figura 10-26:** Entrenamientos SD -Vuelo y técnica de chequeo adecuada





El 100% (13/13) de los pilotos que no violaron la MSA tuvieron una técnica de chequeo cruzada de instrumentos adecuada; por su parte de los pilotos que violaron la MSA se encuentra que hasta un 54.5% tuvieron una técnica chequeo instrumentos adecuada (ver Tabla 10-6). Mediante la prueba Exacta de Fisher, evaluamos la posible relación entre la violación de MSA con el resultado de la prueba de chequeo adecuada, observándose un valor p que rechaza la  $H_0$  ( $p=0.011$ ).

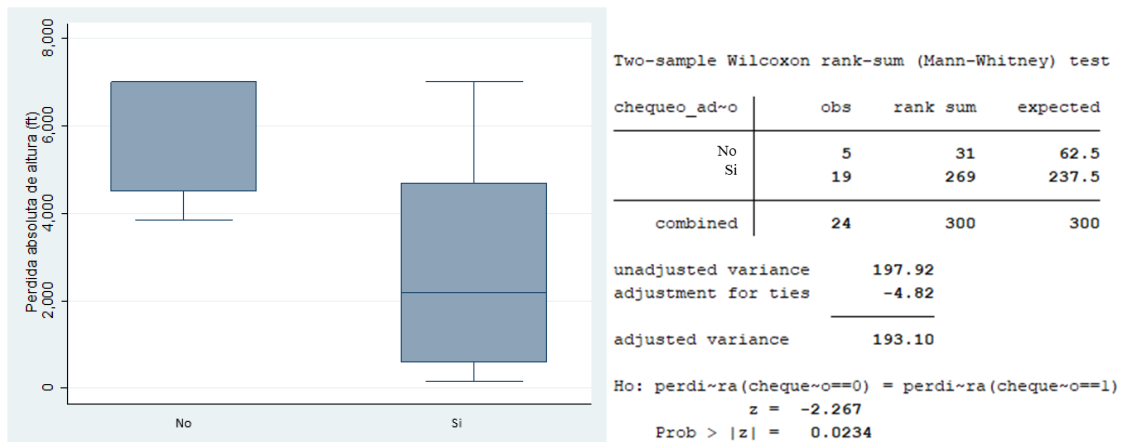
#### ▪ Según Pérdida de altura (V. Continua)

$H_0$ : No diferencia en la suma de rangos de la variable Pérdida de altura y la chequeo visual cruzado adecuado

Tipo prueba: Suma de rangos (Mann-Whitney) (Datos distribución no normal)

Se rechaza  $H_0$  de no diferencia ( $p=0.0234$ ) en la pérdida de altura y la técnica de chequeo visual adecuado mediante la prueba suma de rangos (ver Tabla 10-6). Se puede observar en la **Figura 31** que los pilotos que no realizaron una adecuada técnica de chequeo de instrumentos fueron quienes tuvieron pérdida de altura significativas.

**Figura 10-29:** No. Pérdida de altura y técnica de chequeo adecuada



Teniendo en cuenta los resultados de esta sección, se concluye que si hay relación significativa entre técnica visual de chequeo adecuada y las variables: número de veces instrumentos, No violación MSA, y pérdida severa de altura como se muestra en la Tabla 10-6.

**Tabla 10-7: Exploración relación entre horas total vuelo y entrenamientos SD**

Variable	Técnica visual de chequeo adecuada		Valor p
	Si (n=19)	No (n=5)	
Total Horas de vuelo	2100 (172-6500) *	819 (180-5850) *	0.6437**
Clasificación experiencia piloto n(%)			
Novatos	9 (75.0)	3(25.0)	1.000***
Experto	10 (83.3)	2 (16.7)	
No. Entrenamientos vuelo	2 (1-10) *	2 (1-3)	0.1413**
No. Entrenamientos DEA	0 (0-2)	0 (0-1)	0.9666**
N. instrumentos chequeados	45.7±3.6	24.8±5.6	<b>0.0112</b> ‡
Violación MSA			
Si	6 (54.55)	5(45.5)	<b>0.0110</b> ***
No	13(100.0)	0 (0.0)	
Perdida de altura	2200(150-7000)	7000(3850-7000)	<b>0.0234</b> **

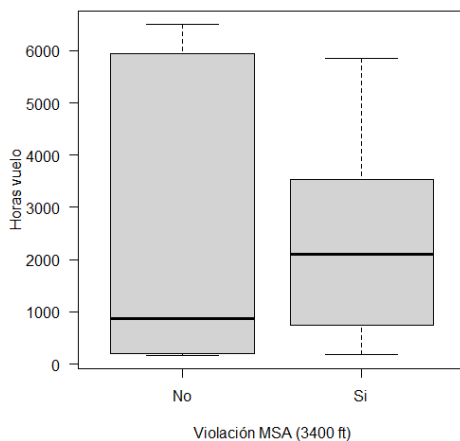
\*Mediana (Min-Máx). \*\* Prueba suma de rangos. \*\*\* Prueba exacta de Fisher ‡ Prueba t student

NOTA: Al igual que otras variables de resultado que expresan pérdida de altura, de frente al dictamen de técnica visual de chequeo cruzado adecuada

### 10.3.3 Resultados según el desenlace de violación del MSA (V. discreta).

#### ▪ Según horas de vuelo (V. Continua)

Ho: No diferencia en la suma de rangos de la variable horas de vuelo y la violación del MSA

**Figura 10-30: Horas de vuelo según violación MSA**

```
Two-sample Wilcoxon rank-sum (Mann-Whitney) test
violacin_MSA | obs  rank sum  expected
-----|-----|-----|-----
No           | 13   165      162.5
Si           | 11   135      137.5
-----|-----|-----|-----
combined    | 24   300      300

unadjusted variance      297.92
adjustment for ties      -0.65
-----|-----|-----
adjusted variance        297.27

Ho: horas_~o(violac~A==0) = horas_~o(violac~A==1)
z = 0.145
Prob > |z| = 0.8847
```

Tipo prueba: Suma de rangos (Mann-Whitney) (Datos distribución no normal)

Se acepta  $H_0$  de no diferencia ( $p=0.8847$ ) en horas de vuelo y la violación del MSA mediante la prueba suma de rangos (ver Figura 10-30).

▪ **Según clasificación experiencia de pilotos (V. discreta)**

$H_0$ : No relación entre las variables violación MSA y la experiencia de pilotos

Tipo prueba: Chi cuadrado

**Figura 10-31:** Experiencia piloto

```
. tab  experiencia_piloto violacin_MSA, chi
```

experiencia_piloto	violación_MSA		Total
	No	Si	
Junior	7	5	12
Experto	6	6	12
Total	13	11	24

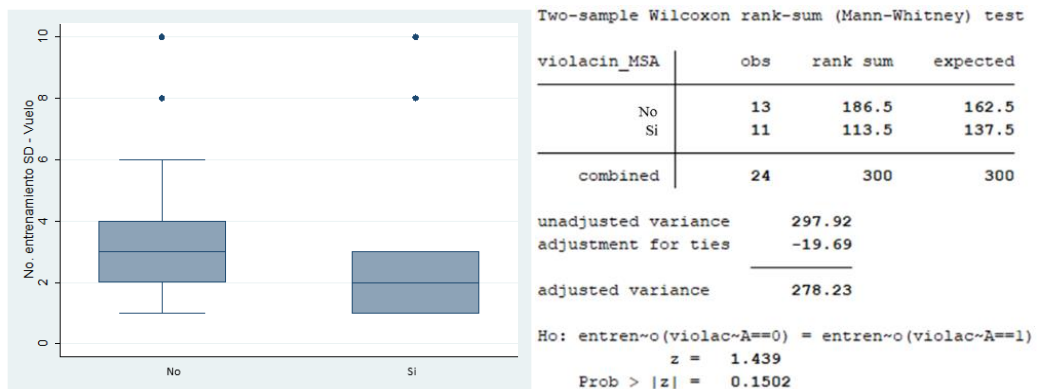
Pearson chi2(1) = 0.1678 Pr = 0.682

El 45.4% (5/11) de los pilotos que violaron la MSA eran Novatos. Y tan solo el 53.8% (7/13) no violaron la MSA. En la evaluación de la relación estadística de estas dos variables categóricas se acepta la  $H_0$  de no relación ( $p=0.682$ ).

▪ **Según No. Entrenamientos vuelo (V. Continua)**

$H_0$ : No diferencia en la suma de rangos de la variable Entrenamientos vuelo y la violación del MSA

**Figura 10-32:** Entrenamientos vuelo y violación MSA



Tipo prueba: Suma de rangos (Mann-Whitney) (Datos distribución no normal)

Se acepta  $H_0$  de no diferencia ( $p=0.1502$ ) en Entrenamientos vuelo y la violación del MSA mediante la prueba suma de rangos (ver Figura 10-32).

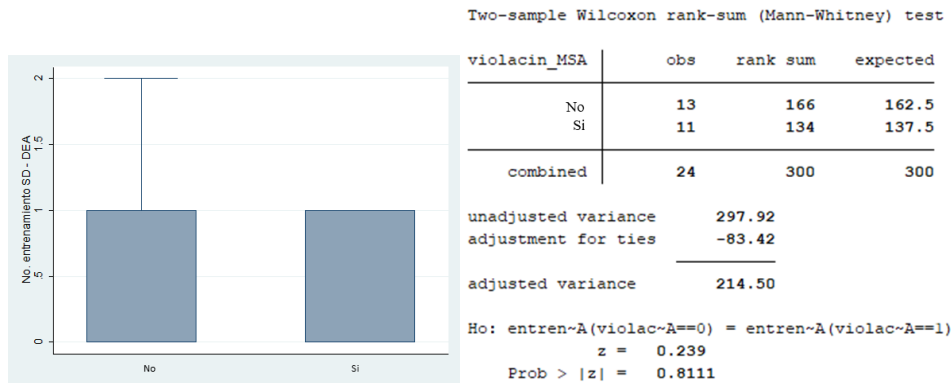
▪ **Según No. Entrenamientos DEA (V. Continua)**

$H_0$ : No diferencia en la suma de rangos de la variable Entrenamientos DEA y la violación del MSA

Tipo prueba: Suma de rangos (Mann-Whitney) (Datos distribución no normal)

Se acepta  $H_0$  de no diferencia ( $p=0.1502$ ) entre Entrenamientos DEA y la violación del MSA mediante la prueba suma de rangos (ver Figura 10-33).

**Figura 10-33:** Entrenamientos DEA y violación MSA



Se concluye que con las variables evaluadas en esta sección no existe relación significativa con el desenlace Violación MSA (ver Tabla 10-7).

**Tabla 10-8:** Exploración relación entre Horas totales de vuelo y entrenamientos SD y violación MSA

Variable	Violación de mínima altura del sector (MSA)		Valor p
	Si (n=11)	No (n=13)	
Horas de vuelo	2100 (180-5850)	880 (172-6500)	0.8847**
Clasificación experiencia piloto n (%) Novatos Experto	5(41.7) 6(Sipes & Lessard, 2000, p. 40)	7(58.3) 6(Sipes & Lessard, 2000, p. 40)	0.6820***
No. Entrenamientos vuelo	2 (1-10)	3 (1-10)	0.1502**
No. Entrenamientos DEA	0(0-2)	0 (0-1)	0.8111**

\*Mediana (Min-Máx). \*\* Prueba suma de rangos. \*\*\* Prueba Chi cuadrado

## 10.4 Análisis asociación entre variables

En el análisis bivariado se concluye que las variables perdida de altura y numero de instrumentos muestras diferencias significativas entre los pilotos que hicieron chequeo adecuado y los que no. Se realizo exploración por regresión logística y se obtuvieron los siguientes resultados:

Variable dependiente: Chequeo adecuado

Variable independiente: perdida de altura

Prueba: Regresión logística.

**Figura 10-34:** Regresión logística 1

```
. logit chequeo_adecuado perdida_altura_absoluta, or
```

```
Iteration 0:  log likelihood = -12.281762
Iteration 1:  log likelihood = -9.6514931
Iteration 2:  log likelihood = -9.3480589
Iteration 3:  log likelihood = -9.3433502
Iteration 4:  log likelihood = -9.343345
Iteration 5:  log likelihood = -9.343345
```

```
Logistic regression                Number of obs   =      24
LR chi2(1)                        =      5.88
Prob > chi2                       =      0.0153
Pseudo R2                         =      0.2393

Log likelihood = -9.343345
```

chequeo_adecuado	Odds Ratio	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
perdida_altura_absoluta	.9994699	.0002606	-2.03	0.042	.9989593	.9999808
_cons	39.47532	59.29425	2.45	0.014	2.078601	749.6874

Se sugiere que cada 1ft de altura que pierde el piloto durante la prueba, reduce en un 0.05% la probabilidad de hacer un chequeo cruzado adecuado [OR=0.9994699 (IC95%=0.9989-0.99998), p=0.042]. Estos hallazgos requieren una evaluación con mayor tamaño de muestra.

Variable dependiente: Chequeo adecuado

Variables intendentas: número de instrumentos

Prueba: Regresión logística.

**Figura 10-35: Regresión logística 2**

```
. logit chequeo_adequado n_instrumentos_escaneados, or
```

```
Iteration 0:  log likelihood = -12.281762
Iteration 1:  log likelihood = -8.9106004
Iteration 2:  log likelihood = -8.228767
Iteration 3:  log likelihood = -8.2122868
Iteration 4:  log likelihood = -8.2122315
Iteration 5:  log likelihood = -8.2122315
```

```
Logistic regression                Number of obs   =      24
                                   LR chi2(1)         =      8.14
                                   Prob > chi2        =     0.0043
Log likelihood = -8.2122315        Pseudo R2      =     0.3313
```

chequeo_adequado	Odds Ratio	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
n_instrumentos_escaneados	1.13642	.0703851	2.06	0.039	1.006512 1.283095
_cons	.0499855	.0958905	-1.56	0.118	.0011639 2.146642

Los anteriores hallazgos sugieren que por cada instrumento que escanea el piloto durante la prueba, se incrementa en un 13% la probabilidad de realizar una técnica de chequeo cruzado adecuada (OR=1.13, IC95%=1.006-1.2830, p=0.039). Sin embargo, se requiere validar este hallazgo un mayor tamaño de muestra



# 11. Discusión

En este punto es necesario señalar que este estudio es el primero que se realiza en esta línea de investigación de evaluación del comportamiento de la mirada bajo desorientación espacial por simulador a nivel nacional y se desconoce si hay algún otro de este tipo a nivel latinoamericano, por lo que será un punto de partida para futuros estudios en esta serie para beneficio de la seguridad de la Fuerza Aérea Colombiana.

## 11.1 Población

Según los criterios de inclusión se puede decir lo siguiente:

De 30 sujetos que se presentaron voluntariamente, todos con certificado de aptitud psicofísica vigente y al momento con examen físico normal; dos sujetos pertenecían a equipos de ala rotatoria a los cuales se les dio la instrucción e hicieron el ejercicio, pero se sacaron del estudio por no pertenecer a equipos de ala fija. Un sujeto que en algún momento fue piloto, pero en el momento su autonomía era para navegante, por lo cual se excluyó del estudio. Un piloto no cumplió a cabalidad el protocolo a cabalidad en la maniobra por lo que el simulador no se activó adecuadamente y no se pudo inducir la desorientación espacial. En un piloto la calidad de fijaciones al momento de la desorientación espacial, fueron muy bajas y de pobre calidad por lo que no se pudo abstraer la información. Y finalmente en un piloto el equipo Eye Tracking no grabó ningún tipo de fijación.

Por lo anterior podemos decir entonces que de los 30 pilotos voluntarios que se presentaron al estudio solo al 80% (n=24) se le hizo tratamiento de datos.

## 11.2 Características de la Población

Esta población residente de la guarnición de Bogotá, fue en su mayoría de género masculino, joven con un promedio de edad de 29,5 años, con predominio de rangos militares ST y MY del equipo de vuelo CN-295.

Se encontró que en promedio los participantes tenían 1490 horas totales de vuelo; la experiencia según la literatura clasifica como expertos a pilotos con más de 1000 horas totales de vuelo (Mortimer, 1995, p. 27). En nuestro estudio el 50% de los partícipes estuvo por debajo de este valor, y en consecuencia se les denominó Novatos y al restante de la población como expertos, obteniéndose así tiene una población de dos grupos con el 50% de la población en cada uno (Ver Tabla 10-3).

Este hecho particular de estar equitativamente balanceados los 2 grupos según punto de corte 1000 horas de vuelo, permitió analizar los resultados frente a cada uno de estos 2 grupos, como en muchos tratados de la literatura, y poder ver las diferencias entre estos dos grupos en el contexto de la desorientación espacial (Ziv, 2016, p. 80) (Peiðl et al., 2018, p. 104).

En el entrenamiento podemos observar que durante la fase de formación como pilotos al menos la mitad de la población recibió dos entrenamientos en desorientación espacial en vuelo real y estos iban aumentando paulatinamente con el transcurso de los años de su vida profesional. Por otra parte los entrenamientos en el simulador espacial avanzado DEA GYRO II cuenta con un solo vuelo para el 37% de la población y esto responde que el programa de desorientación espacial en la fuerza aérea para cuenta con este equipo en funcionamiento desde hace dos años para el momento que se realizó el estudio (FAC, 2015).

## 11.3 Caracterización del Antecedente de Desorientación Espacial en Vuelo

Según el objetivo específico de establecer la incidencia de desorientación espacial en la población de estudio, los resultados obtenidos en la tabla (Ver tabla 4) se evidencia que el

83,1% de la población reporto haber experimentado y reconocido esta falsa percepción, y en un 46,2% la habían presentado más de una vez al momento de nuestro estudio.

Seleccionando aparte a este exclusivo grupo de pilotos que ya habían experimentado la SD, se observa que se caracterizó por que la clasificaron como SD reconocida en el 100% y el grado de severidad fue leve en un 70% de los casos. El rol al momento del evento evidencio que el 45% la padeció en calidad de alumnos, y el equipo de vuelo predominante fue el T-27 con 29.1%. El reporte de estos eventos al sistema de notificación fue del 20%. Es oportuno aclarar que el bajo reporte de esta entidad al sistema de notificación de la FAC en esta población responde a que la mayoría de eventos se presentaron como efecto secundario durante el entrenamiento en maniobras de recuperación de actitudes inusuales en el rol de alumno, supervisado por instructores altamente capacitado donde se esperaba cumplir entre otros objetivos de la misión demostrar la SD (Cheung, 2013, p. 1213)(Breedlove, 2010, p. 12).

Estos resultados hallados contrastan con lo encontrados por Sánchez LM (2003) en su estudio “Desorientación espacial en los pilotos de la fuerza aérea colombiana. análisis de sus componentes”, donde encontró que un 67% de los pilotos refieren haber experimentado la SD, 95% en más de una oportunidad, predominantemente en condiciones de vuelo nocturno o IFR con ayudas de visores nocturnos. Esto puede explicarse por la enorme diferencia en el tamaño de la población estudiada, para el estudio de Sánchez, a un nivel nacional, y conformada por pilotos de ala fija y de ala rotatoria, en misiones operacionales; discrepando de nuestra población local que experimento y reconoció la SD en mayor cuantía, pero que en su mayoría tuvo esta experiencia al inicio de su carrera de aviador en grado de Subteniente, en su fase de formación como piloto alumno, en aeronave de ala fija y misión de entrenamiento, bajo condiciones meteorológicas visuales y con una clasificación de severidad de leve. Sintetizando se puede afirmar que la incidencia de SD en las diferentes poblaciones es alta y cambiante, sin embargo la alta incidencia de las últimas generaciones para reconocer la SD es probable que obedecen al incremento de la capacitación y concientización de la importancia del conocimiento en SD. Acorde a nuestro estudio Holmes S et.al (Holmes et al., 2003, p. 964), coincide con nuestro precepto al encontrar que los encuestados que habían recibido formación en SD en vuelo informaron de más experiencias de SD que los que no habían recibido ninguna formación en vuelo; así mismo ella continua proporcionando cifras similares a las nuestras citando a “Dunford (1992), quien realizo el

cuestionario sobre las experiencias de SD entre los aviadores del Ejército en el Reino Unido documentando que el 10% reportó que nunca habían estado desorientados, el 83% reportó al menos un episodio menor, el 56% había experimentado al menos un episodio significativo, y el 24% un episodio severo a lo largo de toda su carrera”; También para Penning H (Pennings et al., 2020, p. 5) en su estudio ante la pregunta de si el número de eventos reportados depende de la cantidad de entrenamiento SD recibido por los pilotos, encontró una relación marginalmente significativa, no obstante todo lo contrario ocurrió entre la calificación de la concientización y el número de experiencias de SD marcadas. Por otra parte, para Cheung B. la SD Puede ocurrir en cualquier momento y con cualquier tiempo, puede ocurrir tanto a pilotos experimentados como a pilotos novatos, y nadie es inmune (Cheung, 2013, p. 1213).

## 11.4 Caracterización del Uso de Instrumentos Dentro de la Prueba

Para el segundo objetivo específico “Determinar los patrones de escaneo visual de la técnica de chequeo cruzado de instrumentos en la población de estudio, mediante los tiempos de fijación en los instrumentos de control y comportamiento, durante la ilusión de inclinación inducida en el desorientador espacial GYRO II” pudimos observar que del total del tiempo de fijaciones visuales registrado por *Eye-Tracker* sobre los instrumentos sucedidas durante la desorientación espacial inducida en este estudio (ver Figura 10-13), el 69.8% de ellas ocurrió sobre los instrumentos de control involucrados en la contramedida de chequeo cruzado de instrumentos, la cual fue denominada área de interés (AOI); Y dentro de este grupo de instrumentos de control y rendimiento, el instrumento que obtuvo un mayor tiempo acumulado de fijaciones fue el ADI con un 30.4% seguido del ALT y el VSI con un 21.5% y 19.6% respectivamente. Así mismo los análisis de los datos tipo univariado para el tiempo de fijaciones sobre el instrumento ADI a excepción de los demás instrumentos, arrojó un comportamiento de distribución normal, con una media de 7806 mseg, sin embargo, presento una desviación estándar muy amplia de  $\pm 6128.2$ , efecto que podría estar relacionado con el tamaño de muestra pequeño. A pesar de todo, este dato permite inferir con un nivel del 95% de confianza que el promedio de tiempo en el ADI fue de 7806 mseg con una DS  $\pm 6128,2$  y en concordancia al resultado de proporciones fue el instrumento más frecuentemente consultado en este ejercicio de desorientación espacial por la población de estudio (ver tabla 5). Estos datos coinciden con lo hallado por G Ziv

(Ziv, 2016, p. 80) en su revisión bibliográfica de estudios de *Eye-Tracker* en aviación, quien concluyo que el ADI es el instrumento más frecuentado ya que representa dos de los tres ejes de vuelo (es decir, balanceo y cabeceo). De forma similar B Cheung (Cheung & Hofer, 2003, p. 15) refiere que el tiempo de fijación en el ADI bajo SD tipo Coriolis, tuvo un aumento desde el primer hasta el último intervalo del vuelo; y para el caso del ALT ocurrió lo contrario fue decreciendo durante la condición experimental de SD. En contraste a lo anterior B Balaj (Balaj et al., 2018, p. 478), no encontró diferencias en la distribución de la atención visual entre los instrumentos bajo la ilusión somatogírica con giro a la derecha; esto lo relacionó con la manipulación de la pantalla del ADI, que estuvo oculta durante 13 s, pero por el contrario con el giro a la izquierda encontró que los participantes miraban más al ALT y menos al HI. Así mismo encontró en el perfil de Coriolis fijaron más al ADI y menos al ALT y al ASI; y concluyó a manera de recomendación, que los pilotos deben mantener la orientación espacial y un estado de dominio visual únicamente por referencia a los instrumentos de la aeronave, especialmente la indicación de la actitud ADI.

Según el resultado de este estudio el 16,4% del tiempo de fijaciones en instrumentos de interés, ocurre sobre la ventana frontal OTW (ver figura 17) en un chequeo cruzado de instrumentos combinado o dinámico (referencias internas con referencias externas) (Breedlove, 2010, p. 12), con lo cual el OTW fue tercer AOI con mayor tiempo de fijación antecedido por el ADI y el ALT. Con referencia a este dato Martínez J (Martínez, 2018, p. 26) encontró en su estudio de eye tracking durante la fase de aproximación y aterrizaje en condiciones visuales que todos los participantes emplearon la mayoría del tiempo efectuando fijaciones a las áreas externas (ventana frontal), pero los pilotos expertos lo hicieron más frecuente y con tiempos de permanencia muy cortos. De nuevo B Balaj encontró un alto número de vistas a la OTW con predominio de los pilotos expertos en los perfiles de ilusiones visuales en el aterrizaje (sensación de pista inclinada o estrecha), pero en las ilusiones somatogíricas no tuvo relevancia.

De la misma forma se observa en nuestros resultados, que a manera general los sujetos fijan su mirada con más frecuencia en los tableros de instrumentos que en información proveniente del ambiente exterior. Esto esta congruente a lo reportado por G Ziv (Ziv, 2016, p. 80) quien afirma que en general, los pilotos tienden a pasar más tiempo fijándose en el tablero de instrumentos que en el mundo exterior, pero esta diferencia se acentúa entre pilotos que usan pantallas de cristal versus las convencionales al observar la ventana tan solo en un 14% y 41% respectivamente o por diferentes orígenes de entrenamiento de los

pilotos (militares versus comerciales). Al mismo tiempo S Brams (Brams et al., 2018) en su estudio de fallos de cabina y comportamiento de mirada encontró que los pilotos visitaron la ventana aproximadamente cuatro veces menos en comparación con los no pilotos, apoyando así la teoría de reducción de la información o selección de información pertinente, donde se espera que un piloto hagan más permanencias en los instrumentos de la cabina y menos en la ventana.

En nuestro estudio se encontró que el 20.2 % del tiempo de fijaciones se dio en instrumentos considerados sin interés para el patrón de chequeo cruzado. Al respecto, el estudio de Cheung B (Cheung & Hofer, 2003, p. 15) encontró que la mayoría de los sujetos reportaron que tenían problemas para leer los instrumentos, o que las imágenes de la pantalla del instrumento se movían rápidamente y en general los sujetos prestaron menos atención a la ASI y al ADI mientras estaban desorientados alterando así el patrón de chequeo cruzado de instrumentos. Así mismo Allsop J (Allsop & Gray, 2014, p. 70) y Dehais, F (Dehais et al., 2017, p. 23), en sus trabajos en aterrizajes simulados bajo condiciones IMC o de estrés, demostró que la ansiedad producto de la carga cognitiva se asoció con una reducción de la atención visual descendente, lo que condujo a un aumento de la mirada hacia el mundo exterior y a una mayor exploración instrumental aleatoria y a su vez esto se correlaciono con un escaneo desordenado y error en el desempeño. S Brams por su parte describe un escaneo ineficiente cuando se asume que los ojos de los pilotos se mueven demasiado rápido sobre el panel de instrumentos de la cabina y pierden información esencial; igual ocurre con las transiciones entre instrumentos de extremos ocasionando un alcance visual demasiado amplio.

Este resultado del 20.2% de fijaciones en instrumentos sin interés para el patrón de chequeo cruzado sugiere que la quinta parte del tiempo del ejercicio podría estar siendo desaprovechado. Se revela en este hecho un punto de acción para el mejoramiento del entrenamiento en SD, en el uso combinado de dispositivos de rastreo de mirada con los simuladores de SD. Al respecto, W Ledegang (Ledegang & Groen, 2018, p. 876), concluye que la combinación de seguimiento de la mirada y escenarios de SD apropiados en el entrenamiento con simuladores puede mejorar la comprensión de los pilotos de la relevancia del escaneo de instrumentos en la prevención de SD. Igualmente es apoyado por S Peißl (Peißl et al., 2018, p. 104) quien concluye en su revisión de literatura que la medición de los movimientos oculares beneficiará a las investigaciones en psicología de la aviación y medicina aeroespacial. Así mismo lo sustenta C Yu (Yu et al., 2014, p. 713)

quien considera que la integración de dispositivos de rastreo ocular en el simulador será un método creativo para promover la capacitación en materia de alerta situacional en las operaciones de vuelo, y permitirá comprender a fondo el mecanismo de las pautas de exploración visual y el procesamiento de la información para mejorar la eficacia de la capacitación en la aviación y concluye que es necesario observar los rastros visuales de un piloto en las primeras fases del entrenamiento de vuelo para corregir los patrones de exploración inapropiados y evitar la pérdida de la SA en situaciones de tiempo limitado.

Revisando los patrones de las fijaciones ploteados por el Eye tracking para los dos grupos según su experiencia durante la inducción de SD inclinaciones (ver Figura 18 y 19), el grupo con menor experiencia evidencia un comportamiento de mirada en los instrumentos triangular inferior (ALT, ADI, VSI/HI) con un número mayor de consultas a instrumentos de no interés, pero con la salvedad que estos si revisaron instrumentos redundantes a manera de confrontar la información de los instrumentos principales como se les enseña en los entrenamientos cuando uno de los instrumentos principales estuviese fallando, como fue el caso en este ejercicio la pérdida temporal del ADI.(FAA, 2011)(Breedlove, 2010, p. 12). En el grupo con mayor experiencia, se realizó un patrón de mirada de instrumentos de predominio horizontal y combinado, es decir incluyen en sus fijaciones de mirada los dos instrumentos superiores junto con la ventana frontal, configurando un patrón triangular superior (ADI, ALT, OTW) , a pesar de que las condiciones meteorológicas eran instrumentos en el ejercicio IMC. Esto según lo observado por A Haslbeck (Haslbeck & Zhang, 2017, p. 68), es producto del creciente uso de la automatización donde con pocas oportunidades de practicar habilidades control y rendimiento en la aeronave, aparece cierto comportamiento visual acostumbrado. En general, según G Ziv (Ziv, 2016, p. 80) los aviadores expertos y los de menos experiencia, muestran patrón de escaneo diferente. También M Robinski (Robinski & Stein, 2013, p. 2) correspondió a esta afirmación concluyendo que existen diferencias significativas en las técnicas de escaneo de los instructores de vuelo de helicópteros y de los estudiantes pilotos cuando se enfrentan a diferentes exigencias de la misión. Por su parte Balaj B (Balaj et al., 2018, p. 478) en sus conclusiones puntualiza que se presentan cambios específicos en la distribución de la atención visual para determinadas ilusiones (visuales y vestibulares), y que estas afectan el comportamiento de la mirada de los pilotos y los no-pilotos de la misma manera, pudiendo precipitar la SD al impedir que el piloto mantenga una comprobación eficaz de los instrumentos.

Según los resultados expedidos por el instructor de vuelo en instrumentos certificado, para la población de estudio el 79,1% (n=19) hicieron una técnica visual de chequeo cruzado de instrumentos adecuada, donde los dos grupos tienden a la igualdad, es decir no se encuentra relación entre total horas de vuelo y técnica visual de chequeo cruzado de instrumentos (siendo los expertos marginalmente mayoría con un 52,7% n=10). Esto concuerda con lo reportado por Balaj B (Bałaj et al., 2018, p. 478) en iguales condiciones de desorientación espacial de tipo somatogiro, en donde las ilusiones vestibulares afectan el comportamiento de la mirada tanto de los pilotos como de los no-pilotos. A diferencia de lo anterior, pero en ambientes diferentes al SD Ziv G, Peibl S, Robinsky M, Sullivan J (20,45,65,66) entre otros, encuentran esta diferencia significativa a favor de los expertos.

El 19.9% de individuos que no realizaron la técnica visual adecuada de chequeo cruzado de instrumentos puede atribuirse al hecho de que la prueba era contenía un alto grado de severidad por sus características de condiciones meteorológicas instrumentos, baja altitud, pérdida temporal de instrumento principal y el estímulo somatogírico en la desorientación inducida por la desaceleración del movimiento de guiñada en el DEA. Este resultado se encuentra en consonancia con lo reportado por Ziv G, Peibl , Balaj S, Allsop J, Dehais F (20,45,57,60,61) entre otros, quienes muestran que incrementos en las cargas de trabajo cognitivo, deterioran la adecuada técnica visual de chequeo de instrumentos. Esto refuerza la idea del constante entrenamiento bajo estas condiciones de estrés fisiológico.

## **11.5 Relaciones Entre las Variables Antecedentes con los Resultados**

Con la técnica multivariada de análisis estadístico se pueden observar 2 importantes hallazgos para las variables cuantitativas que a su vez nos indican donde están las correlaciones entre variables.

Nuestro estudio, como se observa en la gráfica Fig. 22 cuadrante 4, mostró una relación entre el grupo de variables mayor número de instrumentos, técnica visual de chequeo de instrumentos adecuada, menor pérdida de altitud y no violación MSA, que en consecuencia hablan de un mejor control de la aeronave. Este resultado concuerda con lo señalado por Balaj B (Bałaj et al., 2018, p. 478), al afirmar que la técnica estándar de escaneo de



instrumentos (verificación cruzada), es el único método de comportamiento de la mirada para hacer frente a la SD y disminuir su efecto deletéreo en el rendimiento del vuelo. Igualmente lo establece Ledegan W (Ledegang & Groen, 2018, p. 876), en su conclusión la desorientación espacial en vuelo puede desencadenar entradas de control inadecuadas, causando desviaciones de la trayectoria de vuelo prevista y, en última instancia, la pérdida de control, un escaneo adecuado de los instrumentos puede ser un salvavidas en tales condiciones

Este estudio también muestra, según la Figura 10-25 cuadrante 1, la relación de las variables mayor número de horas totales de vuelo (experto), mayor entrenamiento en desorientación espacial en vuelo y mayor número de experiencias de SD reconocidas, es decir que se evidencia la relación directa que existe entre todas ellas a través de la vida profesional del piloto militar. Este resultado es sustentado también por Ercoline W (Ercoline, 2016, p. 506), quien establece que el entrenamiento, la experiencia (no solo horas totales vuelo sino también las adquiridas en dispositivos y simuladores de SD) y el conocimiento profesional son las claves para prevenir los accidentes causados por la desorientación espacial. Y adiciona que sólo hay dos contramedidas aceptadas para la SD: el conocimiento del SD y una buena técnica de confrontación cruzada de instrumentos.

Las demás variables no guardan relación alguna por medio de este primer abordaje con la técnica multivariada de análisis estadístico, quedando entonces con esto el juzgamiento de hipótesis mediante el análisis bivariado.

## **11.6 Evaluación Analítica de los Resultados (Bivariado)**

Finalmente apuntando al objetivo específico de “Determinar si existe la relación entre los antecedentes”: cantidad de entrenamientos en desorientación espacial (en vuelo y en simulador de desorientación espacial) y la experiencia (según horas totales de vuelo) de la población de estudio”; frente a los resultados, realización adecuada de la técnica visual de chequeo cruzado y pérdida de altitud:

### 11.6.1 Técnica visual de chequeo cruzado adecuada y Horas totales de vuelo

En este cotejo de una variable de entrada o independiente contra una variable de resultado o salida se encontró observando la Figura 10-23, que la mediana para los que si obtuvieron una técnica chequeo adecuada estuvo en 2100 h (172-6500), y la mediana para los que no obtuvieron una adecuada técnica de chequeo se encontró en 819 h (180-5850) mostrando así una tendencia en la relación a pesar de obtener un valor p no significativo que podría atribuirse a un pobre tamaño de muestra para este estudio. En este sentido el resultado apunta a una concordancia con lo presentado por Balaj B (Balaj et al., 2018, p. 478) en cuanto que las señales de SD afectan al comportamiento de la mirada de los pilotos y de los no pilotos de la misma manera. Igualmente enfatiza que el hecho de ser un experto en el pilotaje de aeronaves no reduce la susceptibilidad de los pilotos a perder su orientación espacial

Técnica visual de chequeo cruzado adecuada y Numero Instrumentos interés escaneados  
El resultado entre la variable técnica visual de chequeo adecuado SI, con la variable fijaciones de instrumentos (ver Figura 10-26), se observa que guarda relación directa y significativa (valor  $p = 0.0112$ ), esto concuerda con lo planteado por Ziv G (Ziv, 2016, p. 80) En general, los pilotos tienden a pasar más tiempo fijándose en el tablero de instrumentos que en el mundo exterior. Además, los pilotos experimentados realizan muchas fijaciones de duración relativamente corta a instrumentos específicos, Esto último lo reafirma Brams S (Brams et al., 2018) los pilotos mostraron más permanencias de menor duración en los instrumentos de la cabina, más transiciones entre los instrumentos y menos permanencias en el área irrelevante (es decir, la Ventana u otros instrumentos) en comparación con los no pilotos. Sin embargo, para Balaj B (Balaj et al., 2018, p. 478) las ilusiones de vuelo (inducidas por señales visuales o vestibulares) pueden impedir que el piloto mantenga un control cruzado de instrumentos eficaz. De manera que como lo señala Dehais F (67) en su estudio Los conflictos entre el piloto y la automatización, cuando los pilotos los detectan pero no los entienden generan un estado de sorpresa y confusión, que se relacionó con un fracaso en el manejo inmediato de los conflictos al ocasionar patrones de búsqueda visual excesivos e ineficientes, caracterizado por un aumento en la velocidad de movimientos sacádicos, fijaciones breves y de manera no secuencial sobre los instrumentos con pérdida de información relevante, y ponen en peligro la seguridad del vuelo. Por lo anterior, esto podría darnos pistas en algunos pocos resultados contradictorios de que la técnica visual de chequeo cruzado con alto número de visitas a

instrumentos con pobre interpretación, no garantiza un adecuado desempeño en el control de la aeronave en términos de pérdidas de la altitud severas. De donde se infiere que una adecuada técnica de chequeo requiere una mínima cantidad de fijaciones en instrumentos de control y comportamiento en un determinado tiempo sin pasarse a un escaneo superficial o muy rápido, o a un escenario de atención “en túnel” en un solo instrumento, que sería inoperante para control de la aeronave. Según Ziv G (Ziv, 2016, p. 80), actualmente es materia de investigación el paradigma de visión en acción que examina las interrelaciones entre la mirada y la acción, y permitirá a los investigadores responder preguntas sobre los efectos de fijaciones específicas su duración en el desempeño real de cada tarea discreta, especialmente bajo condiciones estresantes. “El ojo tranquilo ha surgido como una característica de los niveles más altos de rendimiento y es la fijación final o la mirada de seguimiento que se produce antes del movimiento final” Vickers J (Vickers, 2009, p. 287).

### **11.6.2 Técnica visual de chequeo cruzado adecuada y Pérdida de altura**

El resultado de significancia estadística entre estas dos variables de resultado fue de un valor  $p= 0.0234$ , lo cual es reflejado en la Figura 31; y esto es consonante con lo planteado por Ledegan W (Ledegang & Groen, 2018, p. 876) donde la desorientación espacial en vuelo puede desencadenar entradas de control inadecuadas, causando desviaciones de la trayectoria de vuelo prevista y, en última instancia, la pérdida de control; un adecuado chequeo cruzado de instrumentos puede ser un salvavidas en tales condiciones.

### **11.6.3 Técnica visual de chequeo cruzado adecuada y violación de la Altura Mínima del Sector (MSA)**

Aquí se encontró un resultado de alta significancia estadística con un valor  $p= 0.011$ , entre violación de la MSA una forma de definición de pérdida severa de altura, y técnica de chequeo cruzado de instrumentos adecuada (ver tabla 7), al encontrarse que el 100% de los pilotos que no violaron la MSA hicieron una técnica adecuada de chequeo instrumentos, demostrando aquí el impacto que tiene una técnica adecuada de chequeo cruzado instrumentos en contrarrestar pérdida del control de la aeronave a manera de pérdidas severas de altitud. Comparando este resultado con otros estudios como el de Balaj B (Balaj et al., 2018, p. 478), encontramos concordancia con sus conclusiones al señalar que las

ilusiones visuales y vestibulares empleadas en su estudio perjudicaron el comportamiento de la mirada de los participantes y tuvieron efectos negativos en su rendimiento de vuelo, y adicionalmente afirma que la técnica estándar de escaneo de instrumentos es el único método de hacer frente a la SD.

#### **11.6.4 Perdida altura y clasificación de Experiencia pilotos (novato / experto).**

En la evaluación de la Perdida de altura confrontada con la clasificación Experiencia de los pilotos, encontramos el resultado de no significancia estadística ( $p=1.00$ ). Sin embargo llama la atención que el promedio de altitud perdida para los expertos fue mayor que los Novatos (ver figura 26). Así mismo no encontramos una relación significativa ( $p=0,68$ ) para la violación de MSA cotejada con clasificación de Experiencia pilotos, donde se observó que el 50% de los expertos, y el 41% del grupo de menos experiencia violaron la MSA. Este resultado podría apoyar lo aseverado por Cheung B (Cheung, 2013, p. 1213) referente a que la SD es parte del riesgo de volar. Puede ocurrir en cualquier momento y con cualquier tiempo, tanto a pilotos experimentados como a pilotos novatos, y nadie es inmune a ella.

### **11.7 Análisis asociación entre variables**

La relación estadísticamente significativa entre el número de instrumentos de control evaluados y la perdida de altitud, que están relacionadas con los pilotos que realizaron una técnica visual de chequeo cruzado adecuada, se interpreta con que la consulta de instrumentos de control y rendimiento de manera rápida, ordenada y sistemática como se debe hacer la técnica visual de chequeo instrumentos, redundara en mayor cantidad de instrumentos consultados y esto en mejor información para una adecuada conducta que permita el control de la aeronave. Este hallazgo es de gran valor para continuar insistiendo en el programa de entrenamiento de desorientación espacial de la FAC, y en la importancia de una adecuada técnica visual de chequeo de instrumentos como lo sustentan los estudios de Ledegan W, Ziv G, Peibl S, Brams S, Balaj B, (5,20,45,57,59) entre otros.

## 12. Limitaciones

Una de las limitaciones más importantes de este estudio es el pequeño número de participantes. Se considera que en el análisis de variables podríamos encontrar resultados significativos en otras relaciones si se contara con un número de participantes mayor.

Ahora bien, en relación a las dificultades que se presentaron para un adecuado número de participantes podríamos decir, que a pesar de ser un estudio ajeno a evaluación por parte de la institución castrense y de no obligatoriedad, es de aclarar que los pilotos militares se sienten siempre con aprensión a sentirse evaluados. Penning H (Pennings et al., 2020, p. 5) en su encuesta de SD a pilotos militares, menciona que estos podrían tener cuidado de describir las experiencias y la gravedad de SD o la notificación las mismas porque temen que pueda generarles inconvenientes (sesgo de notificación). Este factor pudo haber jugado un papel en este estudio al momento del piloto considerar presentarse a realizar esta prueba en el lugar físico en donde se les evalúa y confiere la aptitud psicofísica para vuelo.

Otra limitación que es importante mencionar es que el dispositivo de seguimiento de mirada es de primera generación y no ofrece los datos de cambios del tamaño de la pupila que nos habría podido aportar datos fisiológicos. Estos dispositivos de primera generación son muy sensibles a perder la calibración y por ende perder participantes por mala calidad de registro de información.

Por ultimo los resultados no son generalizables o representativos de otros grupos de pilotos militares que conforman la Fuerza Aérea Colombiana, solamente a la población de pilotos estudiados que para este estudio de caso fueron pilotos militares de ala fija de transporte localizados en la guarnición de Bogotá.



# 13. Conclusiones y Recomendaciones

## 13.1 Conclusiones

Con respecto al primer objetivo la incidencia de desorientación espacial en la población de estudio, podemos concluir que la muestra de la población pilotos militares de la FAC de ala fija pertenecientes a la guarnición de Bogotá, presentó una incidencia de SD al momento previo de realizar el estudio de 83.3%; de características predominantes de leve intensidad, bajo condiciones meteorológicas visuales, predominantemente ocurrieron durante el entrenamiento de formación como pilotos.

En segundo lugar y objetivo propuesto se tiene también: Determinar los patrones de escaneo visual de la técnica de chequeo cruzado de instrumentos en la población de estudio. Se concluyó que en el patrón de escaneo de instrumentos se encontró que el instrumento ADI, fue el principal instrumento dentro de los instrumentos de interés consultado por tiempo acumulado de fijación; de donde, nuevamente, se concluyó que la técnica visual de chequeo cruzado de instrumentos más implementada fue la radial. Así mismo se concluye que en segundo lugar por tiempo de fijación fue para el ALT. Sin embargo, la secuencia de instrumentos dependió de la experiencia dada en horas totales de vuelo, encontrándose en los novatos mayor variedad de instrumentos y los expertos menor variedad de instrumentos, pero con transiciones al ambiente externo. En general no se encontraron diferencias significativas en los dos grupos en cuanto a número de consulta de instrumentos de control y rendimiento entre estos dos grupos (ver Tabla 10-6).

Del tercer objetivo específico se puede concluir que se demostró que los antecedentes de los pilotos como experiencia (total horas de vuelo) y de entrenamientos (vuelo o simulador) en SD, no tuvieron relación con los resultados de técnica de chequeo cruzado de instrumentos, pérdida de altura y violación de MSA.

Finalmente ante el último objetivo específico: Tener puntos de partida para proponer mejoras en el programa de entrenamientos en desorientación espacial de la Fuerza Aérea Colombiana, se puede decir que se evidencio en la gran mayoría de la población la pérdida de tiempo en al menos una quinta parte del tiempo total de registro en consulta de instrumentos ajenos al de control y rendimiento, dejando de lado otra décima parte que no podemos añadir puesto que no se sabe si fue por limitaciones técnicas del dispositivo de seguimiento de mirada (parpadeos, movimientos bruscos de cabeza, descalibración, etc.) o pudo ser a causa de un escaneo muy superficial (exceso de movimientos sacádicos con tiempo de fijación imperceptible). Esta observación podría ser de gran aporte al entrenamiento eficiente de la contramedida de chequeo cruzado de instrumentos bajo desorientación espacial que se dicta en el DIMAE.

Sin embargo, a pesar de que no se contempló entre los objetivos específicos, se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre ejecutar una adecuada técnica visual de chequeo cruzado con el numero fijaciones instrumentos, la no violación de la MSA y la no perdida de altitud severa.

## **13.2 Recomendaciones**

Se recomienda a futuros estudios que se realicen con mayor número de participantes, que incluyan pilotos con mayor número de entrenamientos principalmente en el DEA, y con mayor registro en número de horas totales de vuelo. Dado que la FAC cuenta con pilotos de género masculino y femenino, consideramos que los datos no son extrapolables de una población a otra, por lo que se recomienda incluir población de ambos géneros en futuros estudios. Así mismo, tomando en cuenta que la SD se asocia a respuestas fisiológicas en el piloto, se considera que podría ser de interes a través de instrumentos de medición fisiológica, incluir este tipo de variables en futuros estudios.

El entrenamiento de SD en simulador además de reforzar la experiencia en reconocer esta entidad, debería aprovechar la oportunidad para evaluar y retroalimentar la contramedida técnica visual de chequeo de instrumentos pues se evidencia los beneficios de esta en contrarrestar los efectos de la SD sobre el control de la aeronave. Por lo tanto se encuentra útil la adquisición y el uso de equipos de fijación de mirada de última generación en el



simulador demostrador de desorientación espacial, para permitir apreciar las competencias de ejecución de la técnica visual de chequeo cruzado en condiciones adversas al final de un curso de entrenamiento en SD o de vuelo por instrumentos; ya que esta es una entidad donde confluyen el interés fisiológico y operacional para el incremento de habilidades y destrezas en beneficio de la seguridad operacional de la FAC.

Se recomienda adaptar e incluir en la malla curricular del silabus del curso entrenamiento avanzado en desorientación espacial en la unidad de aprendizaje el tema de Prevención en desorientación espacial, incluyendo entre estos el subtema de la contramedida técnica de chequeo cruzado de instrumentos, con el fin de, reforzar, evaluar y retroalimentar la técnica visual de chequeo cruzado de instrumentos de los tripulantes de la fuerza aérea colombiana.



# A. Anexo: Formato de Recolección de Información

## PREVUELO

CODIGO: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_ Años. # Celular: \_\_\_\_\_

Rango: \_\_\_\_\_ Género: M\_\_ F\_\_. Fuerza: EJC, ARC, FAC; Fecha Ven Aptitud psicofísica \_\_\_\_\_

Horas de Vuelo Total a la fecha: \_\_\_\_\_ Horas Ala rotatoria \_\_\_\_\_ Horas Ala fija \_\_\_\_\_.

Equipo de vuelo Actual \_\_\_\_\_

- **¿Ha recibido entrenamiento de Desorientación Espacial?** SI # \_\_ (año: \_\_\_\_\_) NO \_\_\_\_
- **¿Cuántas veces ha recibido entrenamiento en desorientación espacial?** (complete)  
Simulador\_\_ # veces; Silla Barany\_\_ # veces; Clase teórica\_\_ # veces  
Instrucción de vuelo\_\_ # veces

Quienes le han dado entrenamiento: Piloto\_\_, Técnico en fisiología de vuelo\_\_, Medico\_\_

- **Hasta el 30 de septiembre / 2019 ¿ha presentado algún tipo de Desorientación Espacial en vuelo?**  
SI\_\_ NO\_\_
- a. ¿Cuántas veces ha presentado desorientación espacial en su carrera? \_\_\_\_\_
- b. **¿Fue reconocida?** SI\_\_ NO\_\_;
- c. En calidad de: Piloto\_\_, Copiloto\_\_, otro cual \_\_\_\_\_
- d. Condiciones meteorológicas; IMC\_\_ VMC\_\_
- e. Hora del día aproximada: \_\_\_\_\_
- f. ¿En qué tipo y modelo de aeronave ocurrió? \_\_\_\_\_
- g. Dispositivo visual que utilizaba: NVG, EFIS, FLIR, HMD, otros \_\_\_\_\_, ninguno \_\_\_\_
- **Clasificación de severidad SD del peor evento (Encierra con círculo la letra de su elección):**
  - A. Fue un episodio menor ("la seguridad del vuelo no se había puesto en peligro")
  - B. Fue un episodio significativo ("la seguridad del vuelo no se había puesto en peligro, pero podría haberse puesto en peligro si las circunstancias hubieran sido diferentes")
  - C. Fue un episodio grave ("la seguridad del vuelo se había puesto en peligro").
  - D. Fue un episodio severo (fue causa de incidente \_ o accidente aéreo\_)
- **¿Simultáneamente se desorientó su piloto \_\_ o copiloto \_\_?** SI\_\_ NO\_\_
- ¿Pidió\_\_ o recibió\_\_ los controles de vuelo por parte del piloto\_\_ o copiloto\_\_ por desorientación espacial?  
SI\_\_ NO\_\_

- **¿Qué “herramientas” uso para recuperarse de la Desorientación espacial?** Chequeo cruzado instrumentos\_, radio ayudas\_, comunicaciones\_, cabeza y ojos quietos\_, entregar controles y cerrar por segundos los ojos\_, mirada al horizonte lejano\_, piloto automático\_, otro \_\_\_\_\_
- **Ordene según importancia de menor a mayor siendo el uno 1 el más importante:** Ind. de actitud\_, ind. de velocidad\_, ind. altitud\_, variometro\_, Ind de Rumbo\_ y coordinador de giro\_.
- **¿Ha reportado algún evento de desorientación espacial en vuelo? SI #\_\_ NO\_\_**

### POSVUELO

1. **¿Cuál fue el principal instrumento que utilizo para orientarse en este ejercicio? (ordene según orden de importancia anterior)**

Ind. de Velocidad\_, Ind. Altitud\_, Ind, de actitud\_, Ind de Rumbo\_, Ind. de velocidad vertical\_, Coordinador de Giro y derrape\_.

2. **Cuáles de los siguientes síntomas presento durante la exposición al perfil de vuelo**

SINTOMA	NIVEL	PUNTAJE
SIN PROBLEMAS		0
LEVE DISCONFORT EN CABEZA, PERO NO SÍNTOMAS ESPECÍFICOS		1
MAREOS, FRÍO/CALOR, DOLOR DE CABEZA, CONCIENCIA DEL ESTÓMAGO/GARGANTA, SUDOR, VISIÓN BORROSA, BOSTEZAR, ERUCTAR, CANSANCIO, SALIVACIÓN, .... PERO SIN NÁUSEAS	Vago	2
	Ligero	3
	Bastante	4
	Severo	5
	Vago	6
NAUSEA	Ligero	7
	Bastante	8
	Arcadas	9
VOMITO		10

MISERY (MISC) Escala

3. **¿Se sintió desorientado? SI\_\_ ; NO\_\_**

4. **¿Que cosas por mejorar agregaría o quitaría a este ejercicio?**

---



---



---

## B. Anexo: Auto reporte de Salud y Examen Médico

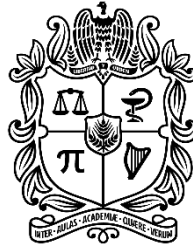
AUTOREPORTE DE SALUD Y EXAMEN FISICO							
CODIGO				Fecha			
CONDICIONES DE SALUD				SI	NO	DESCRIPCIÓN	
¿En los últimos tres (Cheung, 2013, p. 1213) meses ha sufrido algún accidente? (describir brevemente)							
¿En los últimos tres (Cheung, 2013, p. 1213) meses le han diagnosticado alguna enfermedad? (describir brevemente)							
¿En los últimos tres (Cheung, 2013, p. 1213) meses ha presentado sintomatología que haya afectado sus condiciones de salud? (describir brevemente)							
¿Actualmente se encuentra en algún tratamiento médico? (describir brevemente)							
¿En los últimos tres (Cheung, 2013, p. 1213) meses estuvo incapacitado? (describir brevemente las causas de la incapacidad)							
¿Durmió bien la última noche?							
¿Usualmente tiene buena salud?							
¿Le han diagnosticado problemas de agudeza visual?							
¿Le han diagnosticado alguna enfermedad en el oído?							
Actualmente presenta algún tipo de malestar que le impida presentar el vuelo en el Desorientador							
<b>Certifico que la información consignada en este reporte es verídica</b>							
EXAMEN MEDICO							
TA: mmHg	FC: min	FR min	PESO kg	TALLA cm	IMC	TEMP °C	Pc cm
Sistema Vestibular							
Oftalmológico							
Cardiovascular							
Respiratorio							
Osteomuscular							
Neurológico							
<b>CONCEPTO MEDICO PARA EL EJERCICIO EN DESORIENTACION ESPACIAL:</b>							
Firma y sello del profesional							



# C. Anexo: Consentimiento Informado

## COMITÉ DE ETICA DE LA INVESTIGACION CEI-UNAL

### FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPANTES



Número de aprobación CEI-UNAL: XXXX

**Título de la Investigación: “Respuestas Fisiológicas y Control De La Aeronave En Desorientación Espacial Inducida En Pilotos De La Fuerza Aérea Colombiana”**

Mediante la firma del presente consentimiento informado, Yo  
\_\_\_\_\_ identificado con \_\_\_\_\_ No:  
\_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

1. Confirmando que he leído y entendido el formato de Información al Participante correspondiente al presente estudio. Así mismo, he tenido la oportunidad para considerar y revisar la información; y que las preguntas que realicé fueron respondidas satisfactoriamente por el investigador. Por lo anterior, expreso mi deseo de participar como voluntario en el proyecto de investigación
2. Entiendo que puedo retirarme en cualquier momento del estudio. Entiendo que mi retiro del mismo no afectará mi vida laboral, ni tendrá ningún tipo de repercusiones.
3. Yo autorizo el procesamiento de mi información personal, bajo los procedimientos mencionados en el Formato de información. Entiendo que la información será manejada de acuerdo a lo reglamentado por el Habeas Data.
4. Entiendo los riesgos del estudio y a donde debo acudir en caso de que tenga alguna inconformidad sobre los procedimientos del estudio.

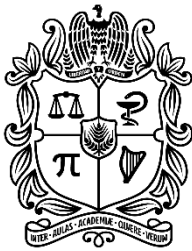
5. Entiendo que se mantendrá en todo momento mi anonimidad y la confidencialidad de mis datos y que no será posible mi identificación en ninguna publicación o ante otras personas diferentes al grupo de investigación.
6. Autorizo al grupo de investigación a tener acceso a mi historia académica/historia clínica para los propósitos del presente estudio
7. Entiendo que los resultados del presente estudio podrán ser presentados o publicados
8. Autorizo a ser grabado en video para los objetivos del presente estudio.
9. Entiendo que no podré ser partícipe del presente estudio si presento alguno de los criterios de exclusión detallados en el Formato de Información y lo explicado por el investigador
10. Accedo a mantener la confidencialidad de las discusiones de grupos focales
11. Entiendo que la confidencialidad no puede ser garantizada durante discusiones de grupos foco/trabajos en equipo/intervenciones grupales.

## FIRMAS:

Nombre participante	Fecha	Firma Y No. de Cedula
Nombre del Investigador	Fecha	Firma Y No. de Cedula
Nombre del Testigo	Fecha	Firma Y No. de Cedula



## D. Anexo: Formato de recolección de información



COMITÉ DE ETICA DE LA INVESTIGACION CEI-UNAL

FORMATO DE INFORMACION AL PARTICIPANTE

Número de aprobación CEI-UNAL: 013 162 - 19

***“Respuestas Fisiológicas y Control De La Aeronave En Desorientación Espacial Inducida En Pilotos De La Fuerza Aérea Colombiana”***

### ***Párrafo de Invitación***

Está usted invitado a participar del presente proyecto de investigación que se realiza en el marco de la especialización en Medicina Aeroespacial de la Universidad Nacional de Colombia. Antes de decidir si decide participar en el mismo, es necesario que usted conozca el por qué se desarrolla la presente investigación y porque requerimos de su participación. Por favor, tome un tiempo para leer la siguiente información. Siéntase libre de preguntarme si algo no es claro o si requiere ampliar la información.

### ***¿Cuál es el propósito del estudio?***

El propósito del estudio mediante un vuelo simulado es observar y comparar el resultado del control de la aeronave con el patrón de escaneo de mirada en instrumentos, a fin futuro de enseñar a elevar oportunamente la alerta situacional frente a la SD y así poder evitarla. Para el desarrollo de este se requiere pilotos voluntarios que deseen participar en un vuelo simulado en el desorientador espacial.

### ***¿Por qué he sido invitado a participar del presente estudio?***

Para el presente estudio se requieren pilotos activos de la Fuerza Aérea Colombiana, de los cuales usted hace parte.

### ***¿Debo participar?***

Su participación es totalmente voluntaria y puede retirarse del estudio en cualquier momento. Si usted decide no participar del mismo, no se verá afectado en su vida laboral y/o militar; ni tampoco interferirá con su curso de entrenamiento fisiológico en desorientación.

***¿Qué pasará si decido participar?***

Si usted decide voluntariamente participar del presente estudio, se le dará una copia del presente formato de información al paciente y deberá firmar el consentimiento informado anexo. Para la firma, por ser militar (personal subordinado) contará con la presencia de un testigo quien verificará que no ha sido forzado a la firma del mismo. Posteriormente, pasaremos a una entrevista para preguntarle unos datos adicionales y explicarle en detalle el desarrollo del estudio.

***¿Cuáles son los beneficios y riesgos del estudio?***

Los datos del presente estudio permitirán determinar estrategias de entrenamiento en las tripulaciones para disminuir el riesgo por factores humanos ante una desorientación espacial en vuelo. Usted no recibirá ningún tipo de compensación económica por su participación en el estudio. Entre los riesgos contemplados está el presentar mareo durante la simulación para lo cual se puede detener el desorientador espacial avanzado y terminar la sesión.

***¿Mi participación será confidencial?***

Todo lo realizado posterior a la firma del consentimiento informado será estrictamente confidencial, para lo cual se le asignará un código alfanumérico que será utilizado en todas las fases del estudio. Los videos realizados solo serán vistos por los investigadores y serán custodiados únicamente por los mismos. Yo/ Nosotros no revelaremos los nombres de ninguno de los participantes.

Siguiendo la normatividad del Habeas Data, la información obtenida en el presente estudio, así como los videos serán almacenados por los investigadores bajo archivos con claves que solo serán de nuestro conocimiento.

***¿Como está financiado el proyecto?***

El proyecto está siendo financiado por el investigador. Así mismo, este estudio cuenta con la aprobación del Comité de Ética de la Investigación de la de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia.

***¿Qué pasará con los resultados del estudio?***

Los resultados del presente estudio serán analizados estadísticamente y los datos obtenidos serán parte del informe final de investigación y tendrán la posibilidad de ser publicados en una revista científica. Si desea consultar los resultados obtenidos puede contactar a los investigadores.

***¿A quién debo contactar para más información?***

Si usted tiene alguna pregunta o requiere más información sobre el presente estudio, por favor contacte a los investigadores:

Nombre: CT. César Olaya, Unidad DIMAE, Teléfono 3146777176, correo electrónico cesar.olaya@fac.mil.co

***¿Qué debo hacer si algo sale mal?***

Si el presente estudio lo ha lesionado de alguna manera o si usted desea colocar alguna queja sobre el desarrollo del estudio, usted puede contactar al Comité de Ética de la Investigación de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia:

PRESIDENTE DEL COMITÉ: CARLOS ARTURO GUERRERO FONSECA

Tel: 3165000 EXT: 15167 Correo electrónico: [eticasalud\\_fmbog@unal.edu.co](mailto:eticasalud_fmbog@unal.edu.co)

**Gracias por leer esta información y por considerar ser parte del presente estudio.**

## **E. Anexo: Instructivo para la Realización del Vuelo Simulado en Desorientación Espacial**

### **Briefing Operación normal.**

Vamos a hacer un despegue normal, de pista corta, por la 31R, avión en configuración limpia (El avión como mejor vuela es cuando no hay «hierros» que rompan el flujo laminar de aire alrededor de él, es decir sin desplegar dispositivos de aumento de la sustentación, frenos aerodinámicos o tren de aterrizaje). Autorizados a entrar comprobamos todas las luces puestas, mandos de vuelo, final y salida libres. Nos alineamos con el eje de la pista 31R.

Autorizados a despegar con 1 punto de *flap*, aplicaremos toda la potencia, soltamos los frenos y al tener indicación de velocidad y “*speed trend*” aumentando anunciamos “Anemómetro vivo” [*airspeed alive*]. A 40 KIAS “Instrumentos de motor en verde” [*Engine instruments in green*].

### **Despegue Normal.**

A 85 KIAS rotamos [*Vr rotate* (Es la velocidad tras la cual el avión comienza a levantar el morro)], y ascendemos a 90 KIAS  $V_x$  (Velocidad de mejor ángulo de ascenso), buscando  $7.5/10^\circ$  de ángulo del horizonte artificial. A 400 ft sobre el terreno nivelamos, limpiamos el punto de *flap* por encima de 85 KIAS, aceleramos a 95 KIAS  $V_y$  (Velocidad de mejor régimen de ascenso) y continuamos el ascenso hasta la altitud del circuito 1000ft (1000ft si es pista 31R), virando a la izquierda para abandonar por el punto Eco, donde notificaremos y realizaremos el “*After Take-off checklist*”. Procederemos a instrucciones del Controlador Aéreo (Operador del simulador DEA).

### **Briefing de Misión:**

El propósito del proyecto de investigación pretende, mediante un vuelo simulado de desorientación espacial ilusión “inclinaciones”, observar y documentar el resultado del control de la aeronave con el patrón de escaneo de mirada en instrumentos, a fin futuro de enseñar a enfrentar con la técnica adecuada de “*cross check*” la emergencia de

desorientación espacial. Para el desarrollo de este se requiere pilotos voluntarios que deseen participar en un vuelo simulado en el desorientador espacial.

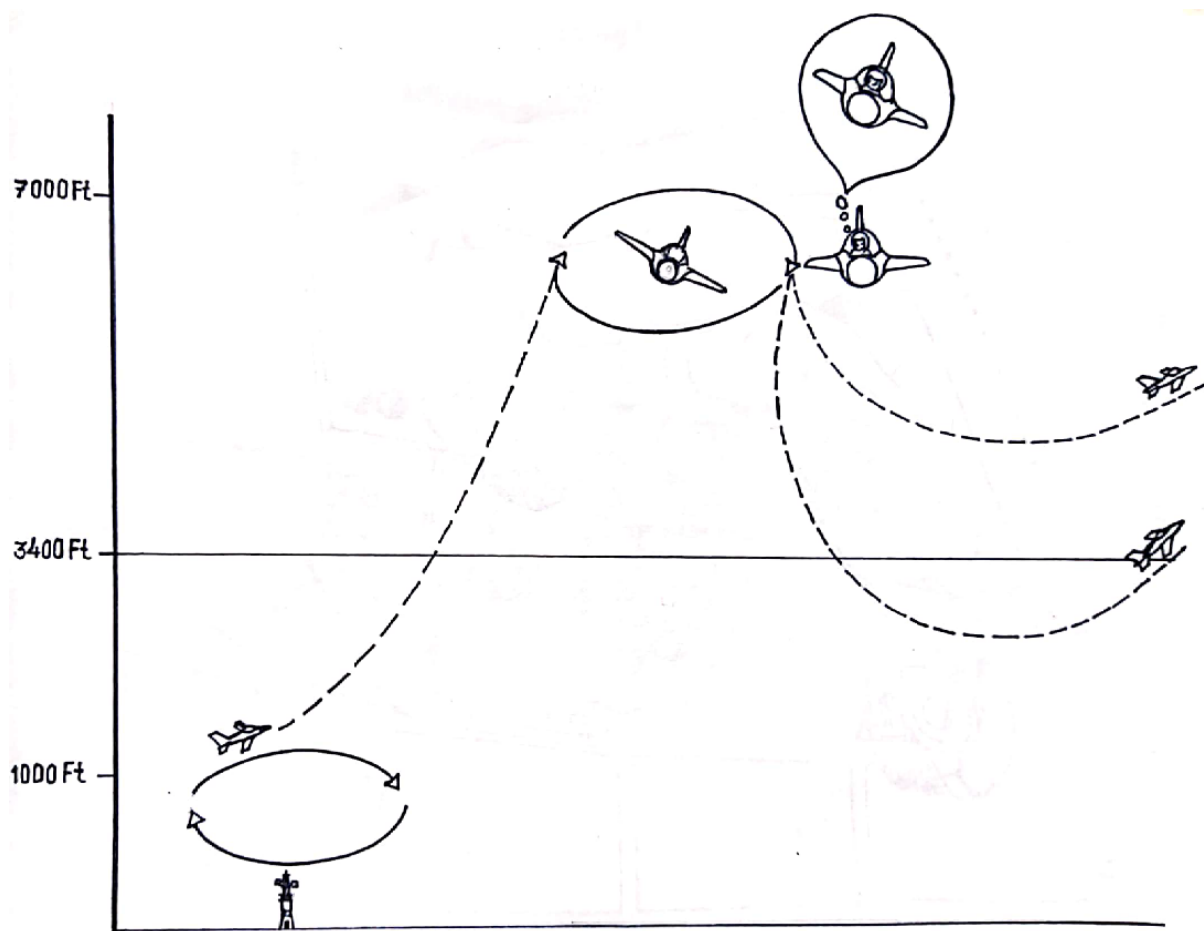
El simulador en desorientación espacial puede recrear e inducir un ambiente de vuelo hasta 22 tipos de desorientación espacial, o perfiles para este trabajo escogimos el perfil de Inclinaciones. El dispositivo de medición del tiempo de las fijaciones en instrumentos y del rastreo ocular es mediante el EYE TRACKER de la marca TOBII2, realizado por la empresa sueca TOBII AB. Básicamente es un video al que se le superpone las fijaciones que son el producto de un reflejo de luz producido y monitoreado por esta gafa, hacia la pupila en la córnea y su frecuencia de muestreo es de 250 Hz, el error medio de la mirada es inferior a 0,5°. Los datos medidos por el sistema TOBII 2 serán procesados por el software de TOBII Lab que está incluido exclusivamente en una computadora portátil para este equipo y desde allí se podrá obtener la el número de fijación y la secuencia o recorrido visual de instrumentos consultados por los sujetos; puede ser conocida por la reproducción del vídeo sobre el panel de instrumentos y las zonas de interés que se le adjudiquen, en un renderizado de este video que contabiliza en fracción de milisegundo cada fijación y su sacadas oculares hacia un siguiente instrumento, conformando así un patrón de escaneo de instrumentos. entre otras muchas funciones que tiene este equipo.

La familiarización con la cabina del Desorientador Espacial Avanzado será inicialmente mediante presentación en el auditorio con diapositivas en *Power Point* en el briefing preoperacional donde se mostrarán panel de instrumentos, límites operacionales del T-6A TEXAN II. Se realizará nueva instrucción en el laboratorio de desorientación espacial Avanzado la practica de instrumentos y controles dentro del simulador previo al ejercicio en cada sujeto, al igual que habituación y recomendaciones de no realizar movimientos bruscos con la cabeza con el equipo gafa “*Eye-Tracker*” en grabación; se realizará chequeo de comunicación con consola del simulador DEA. Finalmente, cada sujeto completará una misión de tráfico básico y patrón de espera según carta IFR de aeropuerto KBCM que trae el simulador como reconocimiento previo de la misión (ver anexo) que nos permitirá evaluar los mínimos de habilidades piloteando el simulador. Tiempo estimado 20 minutos

## **Instructivo en vuelo simulado en desorientación espacial estudio**

Realizado lo anterior, se iniciará la grabación del estudio en el simulador, como en video registrado por las gafas “*Eye-Tracker*”, siguiendo el siguiente guion que ha sido programado en el simulador DEA y ejecutado por su operador.

- Despega desde cabecera de pista 31 derecha
- Al tener ascenso positivo realiza configuración limpia a 400 ft AGL
- Se le da la instrucción iniciar circuito de tráfico sobre KCMB, girando por izquierda con 220°, con velocidad 180 KIAS y altitud de 1000 ft posterior rumbo 130°, posterior rumbo 040° y rumbo final de 310° para enfrentarse a la pista 31C.



**Figura 1.** Esquema del protocolo del estudio.

- Continúa con rumbo de pista para 7000 ft
- Realiza a 200 nudos y banqueo de 45 ° giro por derecha hasta rumbo 240°
- Experimentara la desorientación espacial tipo Inclinaciones (Instrumento "congelado" factor sorpresa que no se revela en *briefing*) \*
- Debe tomar el control de la aeronave no perdiendo altura mayor a 1000 Ft
- Fin de la grabación.

A continuación, se señala el guion que seguirá el operador del DEA y el piloto durante el experimento de desorientación espacial tipo inclinaciones desde carrera de despegue hasta la inducción fisiológica del evento de desorientación espacial:

**OPERADOR:** FAC713 INFORMACION, VIENTO 270°, 6 NUDOS, QNH 1015, PISTA 31C, AUTORIZADO A DESPEGAR, MANTENGA RUMBO DE PISTA HASTA LOS 1000 PIES NOTIFIQUE EN EL AIRE.

**PILOTO:** Autorizado a despegar pista 31, notificaré en el aire y 1000pies, FAC713,

**PILOTO:** Torre, en el aire configuración limpia FAC713,

**PILOTO:** Torre, Alcanzando 1000 pies FAC713,

**OPERADOR:** FAC713 MANTENGA 1000 FT, PROCEDA AL CIRCUITO VIRANDO POR IZQUIERDA CON RUMBO 220°A TRAMO VIENTO CRUZADO, Y NOTIFIQUE VIRANDO A VIENTO EN COLA IZQUIERDA CON RUMBO 130°

**PILOTO:** Procediendo al circuito con 1000 ft y notificaremos virando a viento en cola izquierda, FAC713,

**PILOTO:** Torre virando a viento en cola izquierda 31. FAC713,

**OPERADOR:** FAC713, CONTINÚE PATRÓN Y NOTIFIQUE VIRANDO A BASE 040°.

**PILOTO:** Notificaremos virando a base, FAC713,

**PILOTO:** Torre, alcanzando tramo de base FAC713,

**OPERADOR:** FAC713, PUEDE VIRAR A BASE. NOTIFIQUE TRAMO FINAL Y PISTA A LA VISTA.

**PILOTO:** Virando a base, Notificar final FAC713,

**PILOTO:** En final pista 31, FAC713,

**OPERADOR:** FAC713, TRÁFICO EN PISTA, HAGA MOTOR Y AL AIRE.

**PILOTO:** Motor y al aire, FAC713.

**OPERADOR:** FAC713, CONTINÚE CON RUMBO DE PISTA Y ASCENSO PARA NIVEL 7000 CON VELOCIDAD VERTICAL DE 2000 FT/MTO

**PILOTO:** Ascenso para nivel 7000, con velocidad vertical de 2000 ft/mto. FAC713

**OPERADOR:** FAC713, notifique cruzando KREEK.

**PILOTO:** Notificaremos sobre KREEK, FAC713.

**PILOTO:** Torre, cruzando KREEK con rumbo 031°, manteniendo ascenso para 7000. FAC713,

**PILOTO:** Torre, notifico alcanzando 7000, FAC713,

**OPERADOR:** FAC713, CONTINUE RUMBO A mantenga 7000 y ajuste velocímetro a 200 nudos

**PILOTO:** manteniendo rumbo y nivel a 7000 ajustando para 200 nudos de velocidad, FAC713

**OPERADOR:** FAC713, VIRE POR SU DERECHA CON BANQUEO DE 45° PARA RUMBO 240, MANTENGA VELOCIDAD ACTUAL ESPERE INSTRUCCIONES

**PILOTO:** virando por derecha banqueo de 45°a rumbo 240, mantengo velocidad actual espero instrucciones, FAC713

**OPERADOR:** FAC713, MANTENGA EL VIRAJE HASTA QUE SE LE INDIQUE QUE SAQUE PLANOS A NIVEL

**PILOTO:** *continúo virando por derecha banqueo de 45°, espero orden de sacar planos a nivel, FAC713*

**\* OPERADOR:** *FAC713, SAQUE PLANOS A NIVEL Y MANTENGA RUMBO Y ALTITUD.....*

**\*PILOTO:** *SACANDO PLANOS A NIVEL, NOTIFICO FALLO DE INSTRUMENTO, FALLO DE INSTRUMENTO, FAC713*

*(Piloto percibe sensación de desorientación espacial tipo inclinación al discrepar con la información que muestra el instrumento ADI y quedar bajo las señales distorsionadas de su sistema vestibular).*

**\*OPERADOR:** *Realice CROSS CHECK! CROSS CHECK! DE INSTRUMENTOS CAPITÁN...*

***\*Esta información se omite en el briefing de la misión a la población de estudio para no revelar el factor sorpresa en la misión.***







# Bibliografía

Allsop, J., & Gray, R. (2014). Flying under pressure: Effects of anxiety on attention and gaze behavior in aviation. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 3(2), 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2014.04.010>

Álvarez, J. H. M. (2004). *Inferencia estadística*. Universidad Nacional de Colombia.

Bałaj, B., Lewkowicz, R., Francuz, P., Augustynowicz, P., Fudali-Czyż, A., Stróżak, P., & Truszczyński, O. (2018). Spatial disorientation cue effects on gaze behaviour in pilots and non-pilots. *Cognition, Technology & Work*, 21(3), 473-486. <https://doi.org/10.1007/s10111-018-0534-7>

Barra, J., Bray, A., Sahni, V., Golding, J. F., & Gresty, M. A. (2006). Increasing cognitive load with increasing balance challenge: recipe for catastrophe. *Experimental Brain Research*, 174(4), 734-745. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0519-2>

Bles, W. (2008). *Spatial Disorientation Training – Demonstration and Avoidance*. The Research and Technology Organisation. [https://www.researchgate.net/publication/235197713\\_Spatial\\_Disorientation\\_Training\\_Demonstration\\_and\\_Avoidance\\_entrainement\\_a\\_la\\_desorientation\\_spatiale\\_-\\_Demonstration\\_et\\_reponse](https://www.researchgate.net/publication/235197713_Spatial_Disorientation_Training_Demonstration_and_Avoidance_entrainement_a_la_desorientation_spatiale_-_Demonstration_et_reponse)

Boril, J., Smrz, V., Leuchter, J., & Blasch, E. (2016). Increasing flight safety using flight sensory illusions on a spatial disorientation simulator. 2016 IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference (DASC), 1-5. <https://doi.org/10.1109/dasc.2016.7778095>

Braithwaite, M. G.(1997), DeRoche, S. L., Alvarez, E. A., & Reese MA. Proceedings of the First Triservice Conference on Rotary-Wing Spatial Disorientation: Spatial

- Disorientation in the Operational Rotary-Wing Environment. Army aeromedical research lab fort rucker al., editor. Is hqmc concerned? p p. 30-34. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a324991.pdf>
- Brams, S., Hooge, I. T. C., Ziv, G., Dauwe, S., Evens, K., De Wolf, T., Levin, O., Wagemans, J., & Helsen, W. F. (2018). Does effective gaze behavior lead to enhanced performance in a complex error-detection cockpit task? PLOS ONE, 13(11), e0207439. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207439>
- Breedlove P. M. (2010) Manual, A. F. Manual 11-217, Instrument Flight Procedures, 29 December 2000. In: The United States Air Force manual of instrument flying procedures. Air Force Departmental Publishing Office. 1. p. 12. [www.e-Publishing.af.mil](http://www.e-Publishing.af.mil)
- Campbell, R. D., & Bagshaw, M. (2002). Human Performance and Limitations in Aviation. Wiley.
- Cheung B. (2017) Nonvisual Spatial Orientation Mechanisms. In: Paul Zarchan E-CMLL, Lexington M, editors. Spatial Disorientation in Aviation. firts. San Antonio, Texas: American Institute of Aeronautics and Astronautics. pp. 37–82
- Cheung B. Nonvisual Illusions in Flight. In: Paul Zarchan, Laboratory ML, editors. Spatial Disorientation in Aviation. 1st ed. Lexington, Massachusetts: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.; 2004. p. 243–75.
- Cheung, B. (2013). Spatial Disorientation: More Than Just Illusion. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 84(11), 1211-1214. <https://doi.org/10.3357/ase.3657.2013>
- Cheung, B., & Hofer, K. (2003). Eye tracking, point of gaze, and performance degradation during disorientation. Aviat Space Environ Med, 74(1), 11-20. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12546294/>
- Dehais, F., Behrend, J., Peysakhovich, V., Causse, M., & Wickens, C. D. (2017). Pilot Flying and Pilot Monitoring's Aircraft State Awareness During Go-Around Execution in Aviation: A Behavioral and Eye Tracking Study. The International Journal of

- Aerospace Psychology, 27(1-2), 15-28.  
<https://doi.org/10.1080/10508414.2017.1366269>
- Dehais, F., Peysakhovich, V., Scannella, S., Fongue, J., & Gateau, T. (2015). «Automation Surprise» in Aviation. Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, 2525-2534.  
<https://doi.org/10.1145/2702123.2702521>
- Dreibelbis, J. A., & Organ, B. E. (2018). Semicircular Canal Dehiscence Syndrome and Vestibular Dysfunction Disqualify a Military Student Pilot. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 89(10), 923-926. <https://doi.org/10.3357/amhp.4877.2018>
- Ercoline W. (2016) Spatial Disorientation Training. In: States. SOAMWPAOWPAU, editor. Handbook of Aerospace and Operational Physiology 2nd ed. Wright-Patterson AFB, OH: DISTRIBUTION STATEMENT A. Approved for public release. pp. 727–39. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1020889.pdf>
- Ercoline, W. (2016). Spatial Disorientation. En E. Geiselman & A. McKinley (Eds.), Handbook of Aerospace and Operational Physiology (2.a ed., pp. 477-513). In: Medicine US of A, Department AM, Division AP, 2510 Fifth St. B 840, editors. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1020889.pdf>
- FAA. (2007) Instrument Flying Handbook. Oklahoma city: Skyhorse Publishing Inc;(2) 3. [http://www.faa.gov/about/offi ce\\_org/headquarters\\_offi ces/avs/offi ces/afs/afs600](http://www.faa.gov/about/offi ce_org/headquarters_offi ces/avs/offi ces/afs/afs600)
- Federal Aviation Administration. (2011) Airplane Flying Handbook (FAA-H-8083-3A). US Departm. Vol. 4. Oklahoma city: Skyhorse Publishing Inc.;. (4)3–2 <https://books.google.es/books?hl=en&lr=&id=Zd5pt-nu6HUC&oi=fnd&pg=PA1&dq=AIRPLANE+FLYING+HANDBOOK&ots=Mh3rBM9O7P&sig=sbsvv-PSg8D1C3BaQtCkBDkTDS0#v=onepage&q=AIRPLANE FLYING HANDBOOK&f=false>
- Force IA. (2006). Spatial Disorientation Training. *Indian J Aerosp Med.*, 50(1), 8-10. [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/avs/offices/aam/cami/li](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/aam/cami/li)

brary/online\_libraries/aerospace\_medicine/sd/media/Final%20Report%20FA8650-04-C-6457.pdf

Fuerza Aerea Colombiana. (2015) Desorientador especial avanzado GYRO IPT II" al servicio de la Fuerza Aérea Colombiana. <https://www.fac.mil.co/desorientador-especial-avanzado-gyro-ipt-ii-al-servicio-de-la-fuerza-aerea-colombiana-0>

García Morales, D. M. (2010). Análisis de Factores Humanos y Accidentalidad Aérea en Colombia. ADREP 2000 (TFM). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51312>

Gaydos, S. J., Harrigan, M. J., & Bushby, A. J. R. (2012). Ten Years of Spatial Disorientation in U.S. Army Rotary-Wing Operations. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 83(8), 739-745. <https://doi.org/10.3357/asem.3196.2012>

Gibb, R., Ercoline, B., & Scharff, L. (2011). Spatial Disorientation: Decades of Pilot Fatalities. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 82(7), 717-724. <https://doi.org/10.3357/asem.3048.2011>

Gibb, R., Gray, R., & Scharff, L. (2010). *Aviation Visual Perception*. Ashgate. [https://issuu.com/batdelger1/docs/aviation\\_visual\\_perception\\_\\_ashgate\\_studies\\_in\\_hum](https://issuu.com/batdelger1/docs/aviation_visual_perception__ashgate_studies_in_hum)

Gresty, M. A., & Golding, J. F. (2009). Impact of Vertigo and Spatial Disorientation on Concurrent Cognitive Tasks. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1164(1), 263-267. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2008.03744.x>

Gresty, M. A., Golding, J. F., Le, H., & Nightingale, K. (2008). Cognitive Impairment by Spatial Disorientation. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 79(2), 105-111. <https://doi.org/10.3357/asem.2143.2008>

Haslbeck, A., & Zhang, B. (2017). I spy with my little eye: Analysis of airline pilots' gaze patterns in a manual instrument flight scenario. *Applied Ergonomics*, 63, 62-71. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.03.015>

- Holmes, S. R., Bunting, A., Brown, D. L., Hiatt, K. L., Braithwaite, M. G., & Harrigan, M. J. (2003). Survey of spatial disorientation in military pilots and navigators. *Aviat Space Environ Med* , 74(9), 957-965. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14503674/>
- Kerr, B., Condon, S. M., & McDonald, L. A. (1985). Cognitive spatial processing and the regulation of posture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11(5), 617-622. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.11.5.617>
- Kowalczyk, K. P., Gazdzinski, S. P., Janewicz, M. ł., Gąsik, M., Lewkowicz, R. ł., & Wyleżoł, M. (2016). Hypoxia and Coriolis Illusion in Pilots During Simulated Flight. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 87(2), 108-113. <https://doi.org/10.3357/amhp.4412.2016>
- Ledegang, W. D., & Groen, E. L. (2018). Spatial Disorientation Influences on Pilots' Visual Scanning and Flight Performance. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 89(10), 873-882. <https://doi.org/10.3357/amhp.5109.2018>
- Lewkowicz, R. ł., Fudali-Czyż, A., Bałaj, B., & Francuz, P. (2018). Change Detection Flicker Task Effects on Simulator-Induced Spatial Disorientation Events. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 89(10), 863-872. <https://doi.org/10.3357/amhp.5042.2018>
- Lyons, T. J., Ercoline, W., O'Toole, K., & Grayson, K. (2006). Aircraft and related factors in crashes involving spatial disorientation: 15 years of U.S. Air Force data. *Aviat Space Environ Med* , 720-723. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16856357/>
- Martínez, J. L. (2018). Caracterización y comparación del escaneo visual de pilotos expertos y novatos durante un aterrizaje VFR. *Ciencia y Poder Aéreo*, 13(1), 26. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.584>
- Meeks, R. K., Anderson, J., & Bell, P. M. (2020). *Physiology Of Spatial Orientation*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK518976/>

- Monroy, L. G. D., & Rivera, M. A. M. (2012). Análisis estadístico de datos multivariados. Universidad Nacional de Colombia.
- Mortimer, R. G. (1995). General Aviation Airplane Accidents Involving Spatial Disorientation. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 39(1), 25-29. <https://doi.org/10.1177/154193129503900107>
- Mumaw, R. J., Groen, E., Fucke, L., Anderson, R., Bos, J., & Houben, M. (2015). A New Tool for Analyzing the Potential Influence of Vestibular Illusions. Proceedings of the International Society of Air Safety Investigators, 49(1), 6-12. <https://www.isasi.org/Documents/library/technical-papers/2015/Vestibular%20Illusion%20Tool.pdf>
- Neubauer, J. C. (2000). Classifying spatial disorientation mishaps using different definitions. IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, 19(2), 28-34. <https://doi.org/10.1109/51.827402>
- Newman, D. G., Authority, A. C. A., Flight Medicine Systems Pty, Ltd, Australian Transport Safety Bureau, Australia. Civil Aviation Authority, & Flight Medicine Systems Pty, L. (2007). An Overview of Spatial Disorientation as a Factor in Aviation Accidents and Incidents. Australian Transport Safety Bureau.
- Nooij, S. A. E., & Groen, E. L. (2011). Rolling into Spatial Disorientation: Simulator Demonstration of the Post-Roll (Gillingham) Illusion. Aviation, Space, and Environmental Medicine, 82(5), 505-512. <https://doi.org/10.3357/asem.2946.2011>
- Peißl, S., Wickens, C. D., & Baruah, R. (2018). Eye-Tracker Measures in Aviation: A Selective Literature Review. The International Journal of Aerospace Psychology, 28(3-4), 98-112. <https://doi.org/10.1080/24721840.2018.1514978>
- Pennings, H. J. M., Oprins, E. A. P. B., Wittenberg, H., Houben, M. J., & Groen, E. L. (2020). Spatial Disorientation Survey Among Military Pilots. Aerospace Medicine and Human Performance, 91(1), 4-10. <https://doi.org/10.3357/amhp.5446.2020>
- Petru A, Frantis P. Concept of improving pilot's sensory illusion resistance. ICMT 2015 - Int Conf Mil Technol 2015. 2015; (figure 1):15-8



- Poisson, R. J., & Miller, M. E. (2014). Spatial Disorientation Mishap Trends in the U.S. Air Force 1993–2013. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 85(9), 919-924. <https://doi.org/10.3357/asem.3971.2014>
- Powell-Dunford, N., Bushby, A., & Leland, R. A. (2016). Spatial Disorientation Training in the Rotor Wing Flight Simulator. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 87(10), 890-893. <https://doi.org/10.3357/amhp.4638.2016>
- Previc, F. H., Ercoline, W. R., & American Institute of Aeronautics and Astronautics. (2004). Spatial Disorientation in Aviation. AIAA (American Institute of Aeronautics & Astronautics). <https://doi.org/10.2514/4.866708>
- Previc, F. H., Ercoline, W. R., & American Institute of Aeronautics and Astronautics. (2004). Spatial Disorientation in Aviation. AIAA (American Institute of Aeronautics & Astronautics). <https://doi.org/10.2514/4.866708>
- Regis, N., Dehais, F., Rachelson, E., Thooris, C., Pizziol, S., Causse, M., & Tessier, C. (2014). Formal Detection of Attentional Tunneling in Human Operator–Automation Interactions. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 44(3), 326-336. <https://doi.org/10.1109/thms.2014.2307258>
- Reinhart, R. (2007). *Basic Flight Physiology*. McGraw-Hill Education. <https://vdocuments.site/bookaviation-medicinebasic-flight-physiologypdf.html>
- Robinski, M., & Stein, M. (2013). Tracking Visual Scanning Techniques in Training Simulation for Helicopter Landing. *Journal of Eye Movement Research*, 6(2), 1-17. <https://doi.org/10.16910/jemr.6.2.3>
- Rollin Stott, J. R., Benson, A. J., Gradwell, D. P., & Rainford DJ. Spatial orientation and disorientation in flight. In: Gradwell, D., & Rainford DJ, editor. *Ernsting's Aviation and Space Medicine 5E*. 5th ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2016. p. 281–319.

- Ryan M. (2016) Vestibular Physiology. In: SCHOOL OF AEROSPACE MEDICINE WRIGHT PATTERSON AFB OH, editor. Handbook of Aerospace and Operational Physiology, 2nd Edition. 2th ed. WRIGHT PATTERSON AFB United States. pp. 100–122.
- Sánchez Rubio, L. M. (2005). ENTRENAMIENTO FISIOLÓGICO EN DESORIENTACIÓN ESPACIAL, VISIÓN NOCTURNA Y VISORES NOCTURNOS PARA TRIPULANTES DE LA AVIACIÓN MILITAR EN COLOMBIA. *Revista Med*, 13(1),106-113.[fecha de Consulta 28 de Febrero de 2021]. ISSN: 0121-5256. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=910/91001312>
- Sazel, M., Pavlik, J., Petricek, J., & Sedlaty, Z. (Eds.). (2005). SPATIAL DISORIENTATION TRAINING. In: 53rd INTERNATIONAL CONGRESS OF AVIATION AND SPACE MEDICINE. WARSAW, POLAND (Vol. 53, Número 1). International Academy of Aviation and Space Medicine.
- Sipes, W. E., & Lessard, C. S. (2000). A spatial disorientation survey of experienced instructor pilots. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 19(2), 35-42. <https://doi.org/10.1109/51.827403>
- Stott, J. R. R. (2013). Orientation and disorientation in aviation. *Extreme Physiology & Medicine*, 2(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/2046-7648-2-2>
- Takada, Y., Hisada, T., Kuwada, N., Sakai, M., & Akamatsu, T. (2009). Survey of Severe Spatial Disorientation Episodes in Japan Air Self-Defense Force Fighter Pilots Showing Increased Severity in Night Flight. *Military Medicine*, 174(6), 626-630. <https://doi.org/10.7205/milmed-d-01-6308>
- Webb, C. M., Estrada, A., Kelley, A. M., Ramiccio, J. G., Rath, E., Reeves, E. R., Hill, M. E., Crivello, M. J., & Jones, H. D. (2010). The Effects of Spatial Disorientation on Working Memory and Mathematical Processing. United States Army Aeromedical Research Laboratory Warfighter Performance and Health Division, 1-2. [https://www.researchgate.net/publication/235107823\\_The\\_Effects\\_of\\_Spatial\\_Disorientation\\_on\\_Working\\_Memory\\_and\\_Mathematical\\_Processing](https://www.researchgate.net/publication/235107823_The_Effects_of_Spatial_Disorientation_on_Working_Memory_and_Mathematical_Processing)

- Wickens, C. D. (2005). Attentional Tunneling and Task Management. *International Symposium on Aviation Psychology*, 812-817.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/212660687.pdf>
- Yu, C., Wang, E. M., Li, W., & Braithwaite, G. (2014). Pilots' visual scan patterns and situation awareness in flight operations. *Aviat Space Environ Med* ., 7, 708-714.  
<https://doi.org/10.3357/ASEM.3847.2014>
- Ziv, G. (2016). Gaze Behavior and Visual Attention: A Review of Eye Tracking Studies in Aviation. *The International Journal of Aviation Psychology*, 26(3-4), 75-104.  
<https://doi.org/10.1080/10508414.2017.1313096>