



## CARACTERIZACIÓN Y COMPARACIÓN DEL ESCANEO VISUAL DE PILOTOS EXPERTOS Y NOVATOS DURANTE UN ATERRIZAJE VFR<sup>1</sup>

DESCRIPTION AND COMPARISON OF VISUAL SCANNING IN BEGINNER AND EXPERT PILOTS DURING A VFR LANDING<sup>2</sup>

CARACTERIZAÇÃO E COMPARAÇÃO DA VARREDURA VISUAL DE PILOTOS EXPERIENTES E INICIANTE DURANTE UMA ATERRAGEM VFR<sup>3</sup>

José Martínez<sup>4</sup>

Centro de investigaciones en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE). Cali, Colombia

---

### CIENCIA Y PODER AÉREO

ISSN 1909-7050 / E- ISSN 2389-2468 / Volumen 13 / Número 1 / Enero-Junio de 2018/ Colombia /pp. 26-45

Recibido: 11/09/2017

Aprobado por evaluador: 13/03/2018

Doi: <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.584>



**Resumen:** Este artículo tiene como propósito divulgar los resultados experimentales de un proyecto de investigación donde se realizó la caracterización y posteriormente la comparación de los patrones de escaneo visual de un grupo de pilotos expertos y novatos en la cabina de un simulador de vuelo durante los últimos dos minutos de la fase de aproximación y aterrizaje en condiciones visuales. Se seleccionó de manera aleatoria a un grupo de integrantes de la escuela de aviación de la Universidad RMIT de Melbourne, Australia, durante el tercer trimestre del año 2016; asimismo, el experimento contó con un equipo de rastreo ocular Tobii2. El estudio fue de tipo cuantitativo ex post facto, el cual examinó hasta qué punto las variables independientes: "Experiencia del piloto" y "condiciones de vuelo" afectan las variables dependientes de interés relacionadas con las métricas obtenidas por el equipo de rastreo ocular. Con los resultados obtenidos se realizaron análisis de estadística inferencial de tipo correlacional y de diferencias significativas. Se evidenció una correlación positiva entre la experticia del piloto y el número de visitas a determinados instrumentos de vuelo y áreas de la cabina, diferencias entre el tiempo empleado por los dos grupos en distribuir su atención visual fuera y dentro de la aeronave, así como variaciones entre el tiempo empleado en prestar atención a instrumentos primarios en condiciones de vuelo óptimas y degradadas. La investigación contribuye a la comprensión del proceso de monitoreo en la fase de aproximación y aterrizaje en condiciones visuales desde una perspectiva cuantitativa; adicionalmente, proporciona una serie de evidencias relacionadas con el proceso de escaneo de los pilotos dentro y fuera de la cabina en función de la experticia y condiciones de vuelo, que previamente no había sido abordado a través de esta metodología en un simulador de vuelo.

**Palabras clave:** alerta situacional, sistema visual, entrenamiento de vuelo, medición de factores humanos, equipo de rastreo ocular, áreas de interés, tiempo de atención visual.

**Abstract:** The purpose of this article is to publish the experimental results of a research project in which it was performed the characterization and posterior comparison of visual scan patterns in a group of beginner and expert pilots in the flight simulator cabin during the last two minutes of the approximation and landing phases in visual conditions. A group of participants from the aviation School of the RMIT University in Melbourne, Australia, was selected at random during the third quarter of 2016. Likewise, the experiment counted on a Tobii2 eye tracking device. This was a quantitative, ex post facto study, which examined until which point the independent variables of pilot experience and flight conditions affect dependent variables of interest concerning the metrics obtained by the eye tracking device. With the results obtained, statistical inference analysis of correlational type and of significant differences was performed. A positive correlation was shown between the pilot's expertise and the number of visits to specific flight instruments and cabin areas, differences between the time used by the two groups when distributing their visual attention inside and outside the aircraft, as well as variations between used in paying attention to primary instruments in optimal and degraded flight conditions. The research contributes to the comprehension of the monitoring process in the phase of approximation and landing in visual conditions from a quantitative perspective. In addition, it provides a series of evidences related to the scanning process of pilots inside and outside the cabin in terms of the expertise and flight conditions, which had not been previously managed by this methodology in a flight simulator.

**Keywords:** Situational Alert, Visual System, Flight Training, Human Factor Measurement, Eye Tracking Device, Areas of Interest, Visual Attention Time.

**Resumo:** O presente artigo tem como objetivo divulgar os resultados experimentais de um projeto de pesquisa onde foi realizada a caracterização e posteriormente a comparação dos padrões da varredura visual de um grupo de pilotos experientes e iniciantes no cockpit de um simulador de voo durante os dois últimos minutos da fase de aproximação e aterrissagem em condições visuais. Um grupo de membros da escola de aviação da Universidade RMIT de Melbourne, Austrália, foi selecionado aleatoriamente durante o terceiro trimestre de 2016; além disso, o experimento tinha um dispositivo de rastreamento ocular Tobii2. O estudo foi de tipo quantitativo ex post facto, o qual analisou em que medida as variáveis independentes: "Experiência do piloto" e "condições de voo" afetam as variáveis dependentes de interesse relacionadas às métricas obtidas pela equipe de rastreamento ocular. Com os resultados obtidos, foram realizadas análises de estatísticas inferenciais do tipo de correlação e de diferenças significativas. Resultados: Evidenciou-se uma correlação positiva entre a perícia do piloto e o número de visitas a certos instrumentos de voo e áreas da cabine, as diferenças entre o tempo gasto pelos dois grupos para distribuir sua atenção visual dentro e fora da aeronave, bem como variações entre o tempo gasto prestando atenção aos instrumentos primários em condições de voo ótimas e degradadas. A pesquisa contribui à compreensão do processo de monitoramento na fase de aproximação e aterrissagem em condições visuais a partir de uma perspectiva quantitativa; além disso, fornece uma série de evidências relacionadas ao processo de varredura dos pilotos dentro e fora do cockpit com base à experiência e condições de voo que não haviam sido abordadas anteriormente por meio dessa metodologia em um simulador de voo.

**Palavras-chave:** alerta situacional, sistema visual, treinamento de voo, medição de fatores humanos, equipamento de rastreamento ocular, áreas de interesse, tempo de atenção visual.

#### Para citar este artículo:

Martínez, J. (2018). Caracterización y comparación del escaneo visual de pilotos expertos y novatos durante un aterrizaje VFR. *Ciencia y Poder Aéreo*, 13(1), 26-45. doi: <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.584>.

<sup>1</sup> Artículo científico original que recoge los resultados del trabajo de grado para aplicar al grado de maestría en Ingeniería Aeronáutica y Aviación. Este proyecto pertenece a la línea de investigación de seguridad operacional.

<sup>2</sup> Original scientific article that collects the results of a final degree work to be awarded the master's degree in Aeronautic Engineering and Aviation. This project belongs to the research line in operational security.

<sup>3</sup> Artigo científico original que pega os resultados do trabalho de grau para aplicar ao mestrado em Engenharia Aeronáutica e Aviação. Este projeto pertence à linha de pesquisa de segurança operacional.

<sup>4</sup> Administrador Aeronáutico, subdirector Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales CITAE. Correo electrónico: jose.martinezd@fac.mil.co.

## Introducción

La categoría de vuelo de entrenamiento encargada de desarrollar las habilidades esenciales de pilotaje resulta ser la base fundamental para la adecuada preparación de las tripulaciones. Prácticas y procedimientos inadecuados surgen cuando brechas en el conocimiento aeronáutico se acumulan en la formación inicial, las cuales posteriormente son corregidas a través del inevitable método de ensayo y error. Indiscutiblemente, existe una estrecha conexión entre la instrucción impartida y la calidad del estudiante producido, y por tal motivo, una mayor comprensión de los fenómenos asociados al proceso de entrenamiento de vuelo, junto con la implementación de nuevos métodos y técnicas de enseñanza, facilitan la asimilación de las destrezas y conocimientos necesarios, lo cual permite el fortalecimiento de la seguridad aérea desde un enfoque proactivo.

Igualmente, durante el análisis de las condiciones, escenarios y peligros que involucran las actividades de vuelo, así como de los informes e investigaciones de incidentes y accidentes, se ha logrado la identificación de los factores de riesgo más recurrentes en las operaciones aéreas, lo cual ha facilitado la identificación de áreas de investigación para contrarrestar este fenómeno en campos como el error humano, toma de decisiones, efectos del estrés, memoria prospectiva, atención visual, entre otros (NASA, 2017). En estos reportes y estudios es indudable que el factor humano ha sido el causante de aproximadamente el 70 % de los eventos a nivel mundial.

Para el caso de Estados Unidos y Australia, la National Transport Safety Board (NTSB) y la Australian Transport Safety Bureau (ATSB) han concluido que el 77 % y el 84 % de los accidentes respectivamente están asociados a errores basados en las habilidades (CASA, 2007), donde la pérdida de la alerta situacional es un factor persistente. Adicionalmente, la accidentalidad por millón de horas (incluidos todos los accidentes) en la categoría de entrenamiento de vuelo entre el año 2004 y 2013 en Australia fue de 35,4 (CASA, 2013), estadística que supera en un gran número de veces las de la aviación comercial (1.81 accidentes por millón de horas). Los accidentes e incidentes graves involucran una serie de temas comunes durante la fase de aproximación, tales como: aterrizajes fuertes, pérdida de control y excursión de pista; asimismo, en la fase de vuelo nivelado la proximidad de aeronaves resultó ser un factor de riesgo determinante (ATSB, 2016).

Los actuales programas de entrenamiento que rigen a nivel mundial están enfocados en la transferencia de conocimientos y adquisición de habilidades técnicas requeridas para volar y operar las aeronaves. Sin embargo, existen otras habilidades referentes a los factores cognitivos del

piloto, que son requeridos para administrar los recursos de cabina y no están directamente relacionados con el control de la aeronave, administración de los sistemas o procedimientos estandarizados. Estas son las llamadas las habilidades no-técnicas (ver figura 1), que complementan las habilidades anteriormente mencionadas, reducen el error humano, permiten su identificación y mitigan problemas operacionales (Flin, 2010).

Dentro de estas habilidades se encuentra la alerta situacional enfocada en el monitoreo cruzado, la cual hace referencia al conjunto de habilidades donde la vigilancia y comprensión de la información de vuelo, sistemas y ambiente externo son apropiadas para la fase de vuelo en cuestión, el cual, de acuerdo con la estadística de accidentalidad, ha sido un elemento determinante en la ocurrencia de eventos de seguridad. Para la comprensión y estudio cuantitativo de estos elementos, se tiene la capacidad de analizar mediante equipos tecnológicos el comportamiento del sistema visual, la atención empleada en tareas específicas, la influencia de la experticia y los factores externos que afectan el rendimiento, obteniendo en estas áreas importantes resultados en previos estudios mediante experimentaciones en diversas áreas, tanto en la rama de la aviación como en otros campos de investigación.

En la ejecución de tareas de alta complejidad, los sujetos a menudo deben tomar decisiones con relación a un gran número de estímulos visuales que demandan altos niveles de atención con respecto al sistema visual (Carrasco, 2011; Henderson, Brockmole, Castelhana & Mack, 2007; Itti & Koch, 2000; Treisman & Gelade, 1980). En estos casos la experiencia permite un mayor rendimiento sobre dichas tareas (Green & Bavelier, 2003). Una manera de evaluar la atención es registrar los movimientos oculares, ya que para ver la información visual en detalle, es necesario dirigir la mirada (i.e. fijación ocular), de modo que las imágenes sean registradas en la alta resolución sobre la fovea (Tatler, 2014). Para ver en detalle diferentes estímulos visuales en un entorno complejo, el sistema ocular debe realizar movimientos muy rápidos, llamados sacadas, estas requieren un cambio constante de la atención visual para maximizar la captura de la información sobre una escena (Kustov & Robinson, 1996; Tatler, 2014). Por lo tanto, si una tarea requiere múltiples fuentes de información para permitir un rendimiento acorde con la demanda exigida (Dyer *et al.*, 2014), es posible cuantificar y caracterizar el patrón de atención de los sujetos en tareas visuales específicas. Por ejemplo, en situaciones que requieren un elevado nivel de atención, se pueden definir determinadas áreas de interés (AI) y de esta manera cuantificar el número de fijaciones oculares o el tiempo de duración de la fijación a determinados elementos dentro de la escena (Dyer *et al.*, 2014).



## Elementos del entrenamiento en CRM



Figura 1. Elementos de entrenamiento en CRM. Las habilidades no-técnicas están divididas en varias habilidades y subdisciplinas, siendo estas muy amplias e interdependientes entre sí. La alerta situacional, que es la base de este estudio, es el mecanismo para entender cómo la percepción, la atención y el procesamiento permiten a un individuo tomar una decisión y respuestas apropiadas mediante un adecuado monitoreo cruzado

Fuente: Civil Aviation Authority, 2002

Adicionalmente, el rastreo del sistema ocular mediante el empleo de equipos especializados ha hecho posible cuantificar la atención empleada por grupos de expertos y novatos en diversas disciplinas, como por ejemplo valoraciones médicas (Nodine, Mello-Thoms, Kundel & Weinstein, 2002), deportes de élite (Land & McLeod, 2000) y conducción (Land & Lee, 1994; Land & Tatler, 2001). En un reciente meta-análisis de seguimiento ocular frente a la experiencia, se encontraron algunos patrones y diferencias significativas entre grupos discriminados según su experticia, en estos estudios los expertos tenían periodos de fijación ocular más cortos y mayor número de fijaciones en áreas asociadas a tareas relevantes (Gegenfurtner, Lehtinen & Säljö, 2011). En el campo aeronáutico durante las últimas dos décadas, se han desarrollado un gran número de investigaciones relacionadas con el desempeño del sistema visual (Bellenkes, Wickens & Kramer, 1997; Colvin, Doshia, Belcher & Dismukes, 2004; Dehais, Causse & Pastor, 2008;

Fouse, Weibel, Hutchins & Hollan, 2011; Katoh, 1997; Kramer, Tham, Konrad, Wickens & Lintern, 1994; Shapiro & Raymond, 1989; Weibel, Fouse, Emmenegger, Kimmich & Hutchins, 2011; Wickens, Kasarskis, Stehwien, Hickox & Aretz, 2001) usando dispositivos de rastreo ocular, los cuales han emergido como una importante herramienta de investigación para cuantificar la atención visual en las actividades de vuelo.

El objetivo de esta investigación fue el de recolectar de manera empírica los patrones visuales de una muestra significativa de pilotos, que permitiera caracterizar de una manera objetiva el proceso de monitoreo durante fases críticas de vuelo, como lo es la aproximación y el aterrizaje. El análisis se dividió en tres partes: primero, se estableció el grado de correlación entre experticia y el número de visitas a determinadas AI en la cabina; segundo, se determinaron las diferencias significativas entre expertos y novatos con

respecto al nivel de atención empleado en mirar afuera y adentro de la cabina; tercero, se establecieron las variaciones en el tiempo empleado en prestar atención visual a los instrumentos más usados, en tanto condiciones de vuelo óptimas como degradadas.

## Método experimental

En este proyecto de investigación se tiene como objetivo caracterizar y establecer diferencias significativas en el patrón de escaneo visual de pilotos expertos y novatos en la cabina de un simulador de vuelo, mediante las mediciones efectuadas por el equipo de rastreo y seguimiento ocular Tobii2. Tomando en consideración estudios previos citados en la sección anterior, la naturaleza de la investigación problema y literatura relevante (Duchowski, 2007; Leedy & Ormord, 2015), el diseño de este estudio es de tipo cuantitativo ex post facto y experimental intragrupo, el cual examina hasta qué punto la variable independiente “experticia en actividades de vuelo” (i.e. pilotos instructores y alumnos) y condiciones de vuelo (i.e. turbulencia óptima y moderada) afectan las variables dependientes de interés relacionadas con las métricas obtenidas por el equipo de rastreo, como se citan a continuación:

- Tiempo de duración fuera y dentro de la cabina.
- Fijación del tiempo particular en las áreas de interés (AI).
- Número de visitas a AI en particular.

La investigación no involucra la manipulación directa de la variable independiente experiencia, teniendo en cuenta que la causa “presunta” ya ha ocurrido (experiencia del piloto), y que el propósito es el de concluir a partir de este estudio que las variables dependientes (es decir, las métricas mencionadas) tienden a asociarse con las condiciones preexistentes relacionadas con la variable independiente (Duchowski, 2007). Por otro lado, la variable independiente condiciones de vuelo, compara los efectos que tiene sobre el rendimiento con respecto a las métricas evaluadas en los dos grupos examinados.

## Participantes

El plan propuesto durante el experimento incluyó la recolección de datos referentes a la medida de la atención visual a través de un equipo de rastreo ocular para los dos grupos conformados por 9 pilotos expertos con licencia australiana para desempeñarse como instructores de vuelo (edad promedio 25 años) y 9 pilotos novatos (22 años), los cuales eran alumnos pertenecientes a la Escuela de Aviación de la Universidad Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT), Melbourne, Australia, sede de la misma universidad donde el autor realizó el proyecto de investigación. Los pilotos expertos tenían una experiencia de vuelo

que oscilaba en el rango de 500 a 8.200 horas, mientras que los novatos tenían una experiencia entre 45 y 172 horas de vuelo. Todos los participantes tenían visión acorde con los requisitos exigidos por las autoridades aeronáuticas australianas para el desempeño de actividades de vuelo, y su selección se realizó de acuerdo con los requisitos exigidos por el comité de ética de la universidad en donde libremente solicitaron participar en las pruebas.

## Diseño del experimento

Durante el experimento se solicitó a cada uno de los pilotos de cada grupo realizar una aproximación y aterrizaje en el simulador bajo dos condiciones de vuelo diferentes: óptimas y de turbulencia moderada. Turbulencia moderada consistió en cambios erráticos en altura y/o actitud, donde la velocidad fluctúa entre 15 y 25 nudos y en la cual un pasajero puede ser lanzado fuera del asiento en caso de no tener ajustado el cinturón. Todos los aterrizajes simulados tuvieron lugar en condiciones meteorológicas visuales en el aeródromo de Point Cook, Melbourne, Australia. El procedimiento de aproximación y aterrizaje inició a 1.200 pies sobre el terreno (AGL), 3.8 millas náuticas y rumbo directo al umbral de la pista de acuerdo con la figura 2. Los patrones de escaneo del sistema visual se registraron con el equipo de rastreo ocular durante los últimos 120 s antes del aterrizaje y la secuencia de los dos escenarios propuestos se presentó aleatoriamente. Las fases de aproximación y aterrizaje se consideraron como las más críticas, y por tanto el foco central de este estudio, teniendo en cuenta la estadística de accidentalidad de diferentes fuentes de información (Bureau of Air Safety Investigation, 2006; CASA, 2015; Eurocontrol, 2016; FAA, 2014).

## Simulador de vuelo

El simulador de vuelo Frasca 242 fue utilizado en el experimento, permitiendo registrar los últimos dos minutos de una aproximación visual durante condiciones óptimas y de turbulencia moderada. El equipo era un simulador genérico de un solo motor y hélice de dos palas, la cabina estaba compuesta de la ventana frontal, sistema dual de instrumentos de vuelo y configuración estándar del control de vuelo (i.e., timón, pedales, acelerador, mezcla, paso y rudder), el cual se encuentra avalado como parte de los simuladores donde se realiza el entrenamiento de pilotos alumnos para la obtención de una licencia comercial, bajo la certificación de operador aéreo (AOC) expedida por la autoridad aeronáutica australiana (CASA).

## Detalles del equipo de rastreo ocular

En el experimento se utilizó el sistema de rastreo ocular Tobii 2 (ver figura 3). Este equipo estaba compuesto por unos lentes de 45 g, un sistema de grabación portátil y software de control y análisis. Las gafas permiten un rastreo ocular bi-

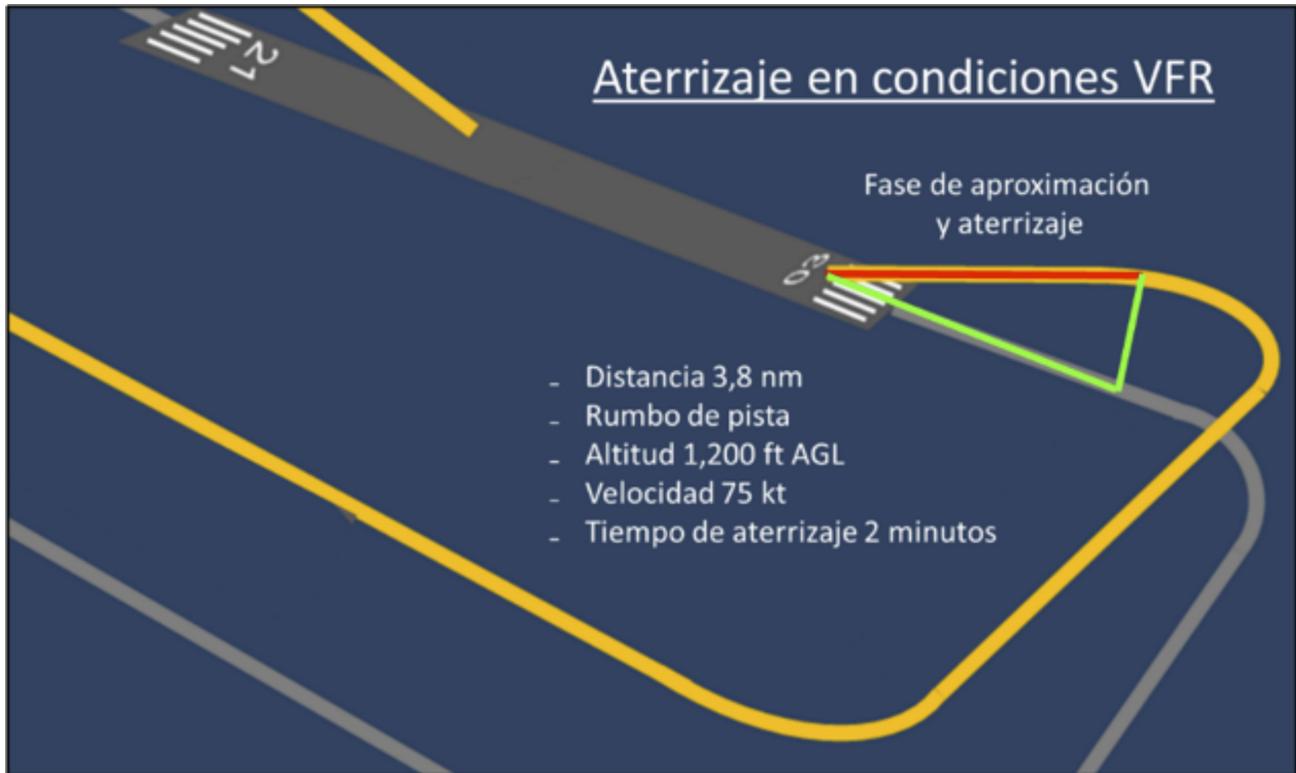


Figura 2. Parámetros del experimento

Fuente: elaboración propia

nocular a una frecuencia de muestreo de 50 HZ, campo de visión de 160° horizontalmente y 70° verticalmente con un micrófono integrado. Las características técnicas del equipo de rastreo ocular permitieron registrar cuantitativamente la atención visual de cada piloto mediante la extrapolación de

los datos a un sistema de coordenadas predefinidas por el software analizador, usando una fotografía de alta resolución de la cabina, donde se habían definido previamente las AI. Una vez procesada la información, fue posible exportar las métricas de seguimiento ocular.



Figura 3. Equipo de rastreo ocular usado en la investigación

Fuente: Tobii Pro, 2016

### Método de análisis estadístico

Los datos obtenidos por el equipo se examinaron inicialmente usando el software analizador Tobii2 versión 1.41.2285 (Tobii, Suecia). Este software se utilizó para definir las AI (dentro, fuera de la cabina de mando y los instrumentos de vuelo); luego, se obtuvo el tiempo empleado en la atención visual y el número de visitas por cada sujeto en las respectivas áreas. Estos datos se utilizaron posteriormente para establecer la correlación entre experticia y los instrumentos de vuelo, y, por otro lado, las diferencias significativas entre el tiempo empleado en las diferentes AI por los pilotos durante condiciones óptimas y de turbulencia moderada, mediante el uso del software de estadística SPSS versión 22.

La comparación entre los dos grupos pilotos se realizó mediante el método de estadística inferencial de análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetitivas de 2 vías, utilizando el tiempo de atención visual en las diferentes AI como variable dependiente, y la experticia y condiciones de vuelo como variables independientes con dos niveles cada uno: expertos-cadetes y condiciones de aterrizaje óptimas-turbulentas.

### Limitaciones del estudio

Algunos participantes durante el desarrollo de la investigación fueron excluidos antes de realizar la selección poblacional, debido a que no era posible simultáneamente el uso del equipo de rastreo ocular con gafas de prescripción médica; sin embargo, algunos participantes con acceso a lentes de contacto pudieron participar sin ningún tipo de inconveniente técnico. Asimismo, otros factores fisiológicos propios de cada individuo como pestañas largas y párpados caídos podían potencialmente obstruir el sistema visual del participante, inconvenientes que no fueron evidenciados durante la recolección de los datos.

Por otro lado, factores ambientales como la iluminación fueron factores clave para recolectar debidamente los datos obtenidos por el equipo, ya que algunos participantes son más susceptibles a la variación de luminosidad durante el proceso de calibración del equipo de rastreo ocular. Estas consideraciones se tuvieron en cuenta y los

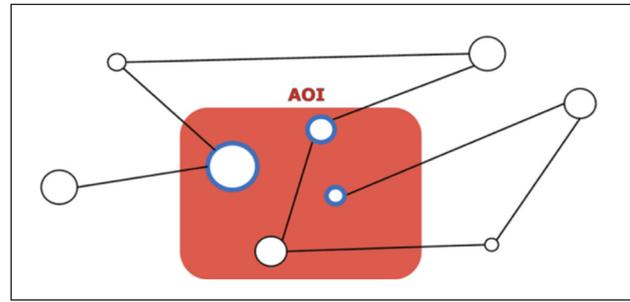


Figura 4. Número de visitas. Esta métrica recolectada por el sistema de rastreo ocular contabiliza la cantidad de visitas realizadas por el participante durante un cierto periodo de tiempo  
Fuente: Senso Motoric Instruments, 2011

datos extraídos no mostraron variaciones significativas en la calidad de las muestras recogidas.

## Resultados

### Relación de experticia y número de visitas en AI al interior de la cabina

La primera fase de la investigación se centró en establecer la correlación entre la experticia del piloto (definida con respecto a su experiencia de vuelo) y el actual número de visitas que realizó con su sistema visual (ver Figura 4) a los diferentes instrumentos de vuelo y AI previamente determinadas.

De acuerdo con un ensayo previo del experimento realizado con un piloto experto con el equipo de rastreo ocular (figura 5A), se seleccionaron 15 AI al interior de la cabina, teniendo en cuenta su importancia basada en la frecuencia y tiempo empleado por el sistema ocular en dichos instrumentos de vuelo y áreas de exploración visual, como se aprecia en la figura 5B.

Posteriormente, fue desarrollado el experimento realizando 36 aproximaciones, 18 por cada grupo y 2 por cada participante (uno en condiciones óptimas y otro en turbulencia media). La figura 6 ilustra mediante un mapa de calor el resumen general de la frecuencia con que el número de visitas en la cabina fue efectuado en cada uno de los dos grupos, información que fue recolectada mediante el software de análisis del equipo de rastreo ocular.

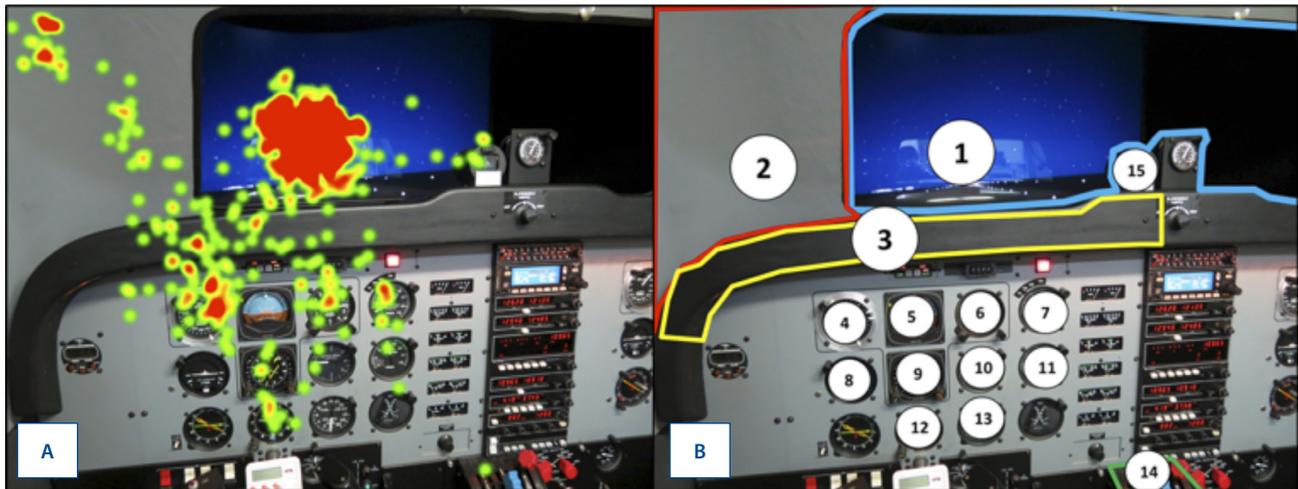


Figura 5. Resultados del ensayo previo realizado y selección AI. Se seleccionaron las siguientes áreas (B) de acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo previo con un piloto experto (A): (1) ventana frontal, (2) ventana izquierda, (3) área de transición entre la cabina exterior e interior, (4) indicador de velocidad, (5) horizonte artificial, (6) altímetro, (7) múltiple de distribución, (8) coordinador de virajes, (9) indicador de situación horizontal, (10) indicador vertical de velocidad, (11) tacómetro, (12) VOR, (13) indicador de flujo de combustible, (14) acelerador, (15) brújula.

Fuente: elaboración propia

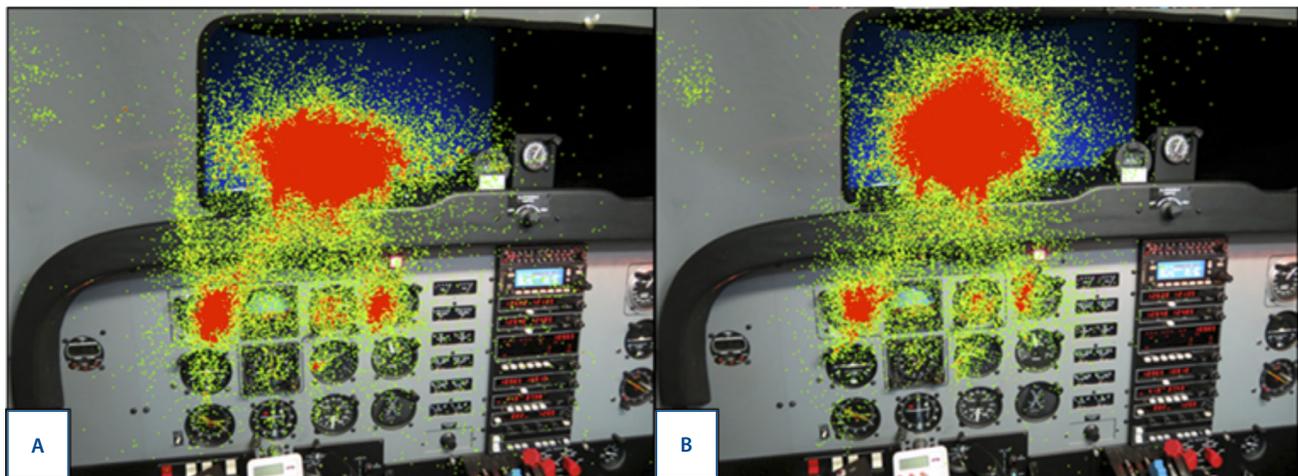


Figura 6. Mapa de calor de los grupos expertos y novatos. (A) corresponde al grupo de expertos, quienes tienen un área más agrupada en sus exploraciones visuales (en el eje vertical), pero con una mayor cobertura de visitas con respecto a las AI predeterminadas comparado con el grupo de novatos (B)

Fuente: elaboración propia

Se extrajeron los datos correspondientes al número total de visitas realizadas por cada uno de los participantes (9 pilotos expertos y 9 novatos) y se obtuvo la media de cada una de las AI para ambos grupos, como se aprecia en la figura 7; el gráfico de barras muestra que la AI más visitada fue el área de transición entre la cabina interior y el área externa de

exploración visual (figura 5B-3). En su orden para el personal de pilotos expertos le siguen, la ventana frontal, el velocímetro, el horizonte artificial y el altímetro fueron las áreas con más registros en promedio. Asimismo, se observa un mayor número de visitas a todas y cada una de las áreas analizadas por parte de los expertos con respecto a los novatos.

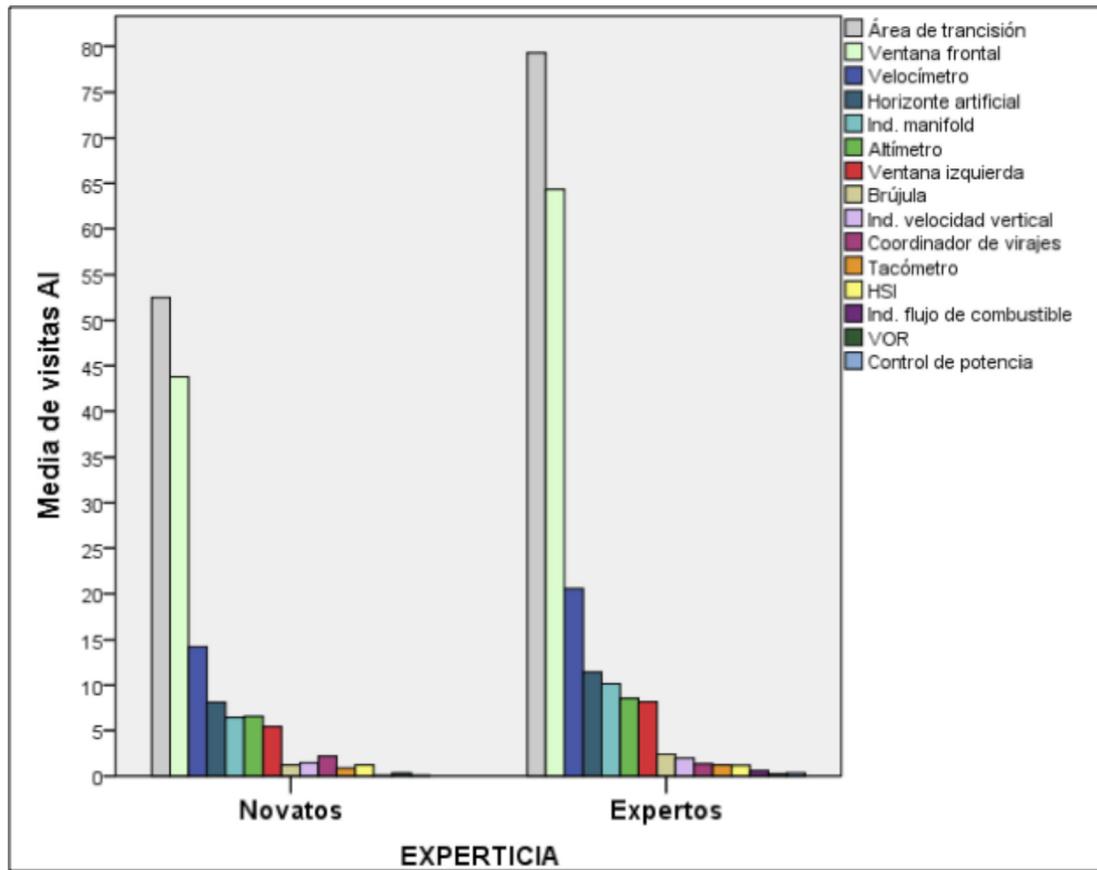


Figura 7. Media de visitas a las AI  
Fuente: elaboración propia

Por otro lado, se cuantificó el porcentaje de participantes de cada grupo que visitaron al menos una vez cada uno de instrumentos y áreas de exploración visual, de acuerdo con los resultados de detallados en la tabla 1. El grupo de expertos presenta un área de exploración visual mucho más amplia al cubrir en mayor proporción las áreas de exploración determinadas, a excepción de la ventana lateral izquierda, el altímetro y el acelerador.

Por último, se realizó un análisis correlacional entre la experticia y el número de visitas a las AI. Debido a que los datos no seguían una distribución normal (distribución de Gauss), se calculó el coeficiente de correlación de Spearman,  $\rho$  (Flin). Este valor obtenido es la medida de la asociación o interdependencia entre las dos variables mencionadas. Se evidenció una correlación positiva entre la experticia y el número de visitas en las dos siguientes AI

al nivel  $p < .05$ : área de transición ( $\rho = .337$ ,  $p = 0.038$ ) y velocímetro ( $\rho = .340$ ,  $p = 0.036$ ).

### Relación de experticia y número de visitas en AI al interior de la cabina

El segundo objetivo de esta investigación consistió en establecer las diferencias entre los grupos de pilotos (experticia), con respecto al tiempo total de duración empleado por el sistema visual adentro y afuera de la cabina (ver figura 8) durante el lapso de 2 minutos, en el cual se desarrolló el experimento por cada participante.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la tabla 2, el tiempo medio empleado mirando afuera de la cabina por el grupo experto para las dos condiciones de vuelo ( $M = 85.10$ ,  $SD = 8.74$ ,  $SE = 2.06$ ), fue menor comparado con el grupo de novatos ( $M = 96.83$ ,  $SD = 8.02$ ,  $SE = 1.89$ ). Por el con-



Tabla 1. Porcentaje de participantes de cada grupo que visitaron al menos una vez cada AI (durante los últimos 2 minutos de la fase de aproximación y aterrizaje) y las diferencias entre los dos grupos. Se realizaron 38 aterrizajes en dos condiciones diferentes en ambos grupos de pilotos. (\*) Hace referencia a los instrumentos que fueron visitados en mayor proporción por el grupo de novatos, y (\*\*) hace referencia a los instrumentos que fueron visitados en mayor proporción por el grupo de expertos.

ÁREAS DE INTERÉS		TIPO DE INSTRUMENTO	NOVATOS	EXPERTOS	DIFERENCIAS
1	Ventana frontal	Área de exploración visual	100 %	100 %	0 %
2	Ventana lateral izquierda *	Área de exploración visual	79 %	75 %	4 %
3	Área de transición entre la cabina exterior e interior	Área de exploración visual	100 %	100 %	0 %
4	Velocímetro	Comportamiento	100 %	100 %	0 %
5	Horizonte artificial **	Control	95 %	100 %	-5 %
6	Altimetro *	Comportamiento	100 %	80 %	20 %
7	Indicador manifold	Control	100 %	100 %	0 %
8	Coordinador de virajes **	Comportamiento	47 %	55 %	-8 %
9	Indicador de situación horizontal **	Navegación	47 %	50 %	-3 %
10	Indicador de velocidad vertical **	Comportamiento	37 %	40 %	-3 %
11	Tacómetro **	Control	42 %	55 %	-13 %
12	VOR **	Navegación	16 %	30 %	-14 %
13	Indicador de flujo de combustible **	Rendimiento del motor	11 %	15 %	-4 %
14	Acelerador *	Rendimiento del motor	11 %	10 %	1 %
15	Brújula **	Comportamiento	37 %	40 %	-3 %

Fuente: elaboración propia



Figura 8. AI seleccionadas. En dichas AI se obtuvo el tiempo total que cada participante la observó durante el lapso de dos minutos  
Fuente: elaboración propia

trario, el tiempo medio empleado mirando adentro de la cabina por el grupo experto fue mayor ( $M=18.63$ ,  $SD=6.08$ ,  $SE=1.43$ ) comparado con el grupo de novatos ( $M=12.89$ ,  $SD=3.88$ ,  $SE=0.91$ ). Los resultados del ANOVA de dos factores entre grupos señalan que la diferencia entre el tiempo medio empleado afuera de la cabina por el grupo de expertos y novatos es estadísticamente significativa ( $F(1, 16) = 5.794$ ,  $p = 0.029$ ), así como el tiempo empleado al interior de la cabina ( $F(1, 16) = 4.862$ ,  $p = 0.042$ ).

La tabla 3 detalla los resultados obtenidos el tiempo medio empleado por los dos grupos mirando al interior de la cabina. En condiciones óptimas el tiempo empleado ( $M=19.50$ ,  $SD=6.14$ ,  $SE=1.45$ ) fue mayor comparado con condiciones de turbulencia moderada ( $M=12.03$ ,  $SD=5.75$ ,  $SE=1.35$ ). Los resultados del ANOVA de dos factores intragrupos señala que la diferencia entre el tiempo medio empleado adentro de la cabina por el grupo de expertos y novatos es estadísticamente significativa ( $F(1, 16) = 29.671$ ,  $p = 0.000054$ ).

Tabla 2.

Tiempo medio en las dos AI de cada grupo en la fase de aproximación-aterri-zaje durante los dos minutos del experimen-to. Los expertos emplearon más tiempo mirando adentro de la cabina que los novatos. Por otro lado, ambos grupos usaron menos tiempo mirando adentro de la cabina en condiciones de turbulencia que en condiciones óptimas

TIEMPO EMPLEADO EN LAS ÁREAS DE INTERÉS (s)						
CONDICIONES / EXPERTICIA		AFUERA DE LA CABINA		ADENTRO DE LA CABINA		
		Media	Desv. Est.	Media	Desv. Est.	N
Cond. Óptimas	Expertos	83.81	8.63	23.52	4.94	9
Cond. Turbulencia		86.39	9.18	13.74	7.22	9
<b>Total</b>		<b>85.10</b>	<b>8.74</b>	<b>18.63</b>	<b>6.08</b>	<b>18</b>
Cond. Óptimas	Novatos	96.27	7.72	15.48	4.38	9
Cond. Turbulencia		97.39	8.75	10.31	3.37	9
<b>Total</b>		<b>96.83</b>	<b>8.02</b>	<b>12.89</b>	<b>3.88</b>	<b>18</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.

Tiempo medio usado al interior de la cabina durante las con-diciones óptimas y de turbulencia en la fase de aproximación-aterri-zaje de dos minutos. Los expertos emplearon más tiempo mirando adentro de la cabina que los novatos. Por otro lado, am-bos grupos usaron menos tiempo mirando adentro de la cabina en condiciones de turbulencia que en condiciones óptimas

TIEMPO EMPLEADO EN LAS ÁREAS DE INTERÉS (s)				
CONDICIONES / EXPERTICIA		ADENTRO DE LA CABINA		
		Media	Desv. est.	N
Condiciones óptimas	Novatos	15,48	4,38	9
	Expertos	23,52	4,94	9
	<b>Total</b>	<b>19,50</b>	<b>6,14</b>	<b>18</b>
Condiciones de turbulencia moderada	Novatos	10,31	3,37	9
	Expertos	13,74	7,22	9
	<b>Total</b>	<b>12,03</b>	<b>5,75</b>	<b>18</b>

Fuente: elaboración propia

### Relación de experticia y número de visitas en AI al interior de la cabina

El último caso de estudio de esta investigación consis-tió en determinar las diferencias entre los grupos (exper-tos y novatos) y el tiempo que empleaban para distribuir su atención visual en los instrumentos de vuelo en la ca-bina. Se denomina como tiempo de atención visual, una duración mínima de 60 milisegundos por parte del sujeto. Este parámetro fue seleccionado de acuerdo con estudios previos, en los cuales se ha establecido que este lapso de

tiempo es el mínimo empleado por un ser humano para el procesamiento de la información a través del sistema visual (Duchowski, 2007). De acuerdo con la figura 9, se identi-ficaron los cuatro instrumentos más importantes: velocí-metro, indicador Manifold, altímetro y horizonte artificial, teniendo en cuenta el tiempo medio empleado por los grupos fijando su atención visual en ellos.

Con el fin de establecer diferencias significativas en-tre los dos grupos, se tabularon los datos referentes a la estadística descriptiva en las 4 AI con respecto a las dos condiciones de vuelo y los dos grupos de experticia (tabla 4); posteriormente, se obtuvieron los resultados del análisis de estadística inferencial ANOVA de dos factores entre gru-pos, el cual señaló que la diferencia entre el tiempo medio empleado fijando la atención en los cuatro instrumentos de vuelo por parte de los grupos de expertos y novatos no es estadísticamente significativa como se resume en la tabla 5.

Tabla 4.

Tiempo medio de atención visual en las AI durante condiciones óptimas y de turbulencia en la fase de aproximación-aterri-zaje de 2 minutos. Los expertos emplearon más tiempo observando los instrumentos de vuelo comparado con los pilotos novatos (a ex-cepción del altímetro en condiciones óptimas). También, ambos grupos utilizaron un menor tiempo enfocando su atención a los instrumentos de vuelo en condiciones de turbulencia (a excep-ción del grupo de expertos en el altímetro y el horizonte artificial)

AI	EXPERTICIA	Condiciones óptimas		Condiciones de turbulencia		N
		Tiempo medio (s)	Desv. std.	Tiempo medio (s)	Desv. std.	
Velocímetro	Novatos	2,76	1,19	2,05	0,80	9
	Expertos	4,22	2,48	3,90	1,75	9
	<b>Media grupos</b>	<b>3,49</b>	<b>2,03</b>	<b>2,97</b>	<b>1,62</b>	<b>18</b>
Indicador manifold	Novatos	1,06	0,85	0,52	0,53	9
	Expertos	2,55	2,36	1,93	1,12	9
	<b>Media grupos</b>	<b>1,81</b>	<b>1,88</b>	<b>1,23</b>	<b>1,12</b>	<b>18</b>
Altímetro	Novatos	1,36	0,92	0,69	0,71	9
	Expertos	1,23	0,94	1,24	0,98	9
	<b>Media grupos</b>	<b>1,30</b>	<b>0,91</b>	<b>0,97</b>	<b>0,88</b>	<b>18</b>
Horizonte artificial	Novatos	0,59	0,34	0,40	0,46	9
	Expertos	0,84	0,72	1,00	0,77	9
	<b>Media grupos</b>	<b>0,71</b>	<b>0,56</b>	<b>0,70</b>	<b>0,69</b>	<b>18</b>

Fuente: elaboración propia

Asimismo, se verificaron si existían diferencias entre las dos condiciones de vuelo mediante el análisis ANOVA de dos factores intragrupos (ver tabla 6), encontrando que, para el velocímetro, altímetro e indicador de actitud sí fue estadísti-camente significativa, como a continuación se resume.

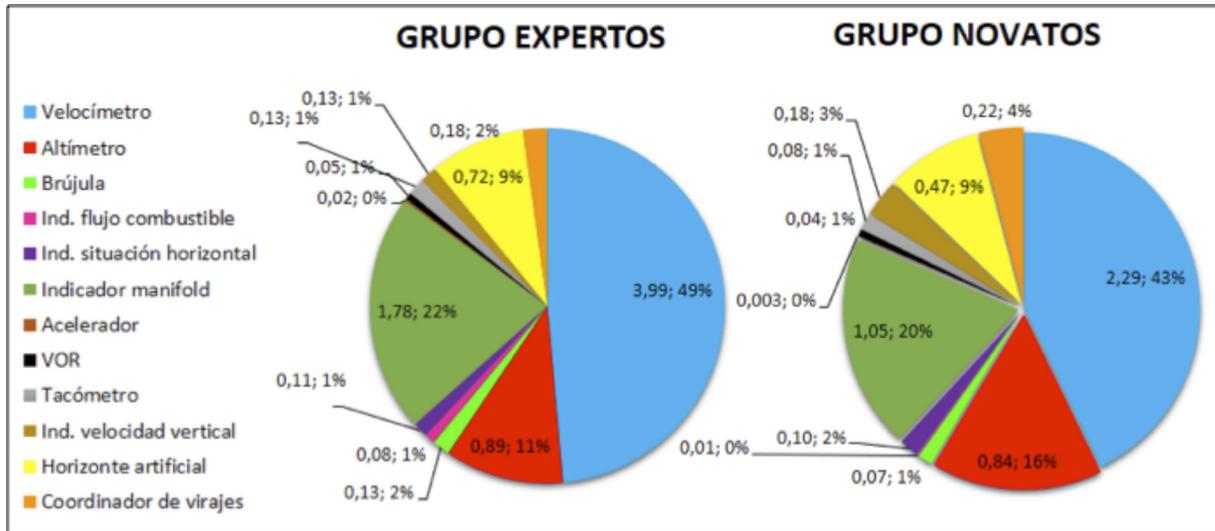


Figura 9. Tiempo medio de atención visual para el grupo de expertos y novatos en los instrumentos de vuelo. El indicador de velocidad registró el mayor tiempo de atención visual en los expertos (4.0 s) y en novatos (2.3 s); en su orden, el indicador manifold ocupó el 22 % del tiempo con respecto a los instrumentos analizados en los expertos y el 20 % en los novatos, el altímetro el 11 % en expertos y 16 % en los novatos y el indicador de actitud 9 % en expertos y novatos. El resto de los instrumentos de vuelo requirieron menos del 2 % del tiempo de la atención visual

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.

Resultados pruebas comparativo ANOVA entre grupos. No se encontraron diferencias significativas al nivel  $p < 0.05$  en el tiempo medio empleado en la atención visual para el velocímetro, indicador Manifold, altímetro o indicador de actitud entre los dos grupos durante la fase de aterrizaje de aproximación de 2 minutos

TEST	INSTRUMENTO	[ F ( gl , gl ) = F Valor , p = sig , Significativo
1	VELOCÍMETRO	[ F ( 1 , 16 ) = 2.112 p = 0.165 , No
2	IND. MANIFOLD	[ F ( 1 , 16 ) = 1.006 p = 0.331 , No
3	ALTÍMETRO	[ F ( 1 , 16 ) = 0.299 p = 0.592 , No
4	HORIZONTE ARTIFICIAL	[ F ( 1 , 16 ) = 1.154 p = 0.299 , No

Fuente: elaboración propia

Tabla 6.

Test comparativo ANOVA para condiciones de vuelo. Se encontraron diferencias significativas en el nivel de  $p < 0,05$  en el tiempo medio empleado para fijar la velocidad aerodinámica, el altímetro y el indicador de actitud entre las dos condiciones de vuelo durante la fase de aterrizaje de aproximación de 2 minutos. No se encontraron diferencias significativas en el indicador Manifold

TEST	INSTRUMENTO	[ F ( gl , gl ) = F Valor , p = sig , Significativo
1	VELOCÍMETRO	[ F ( 1 , 16 ) = 7.244 p = 0.016* , Si
2	IND. MANIFOLD	[ F ( 1 , 16 ) = 3.103 p = 0.097 , No
3	ALTÍMETRO	[ F ( 1 , 16 ) = 19.379 p = 0.000445* , Si
4	HORIZONTE ARTIFICIAL	[ F ( 1 , 16 ) = 5.878 p = 0.028* , Si

Fuente: elaboración propia

Estos resultados demostraron que las condiciones de vuelo influyen significativamente en la atención visual empleada en los instrumentos de vuelo más importantes durante la fase de aproximación y aterrizaje en el simulador de vuelo. Por ejemplo, los pilotos durante condiciones degradadas reducen la atención visual en un 67 % en el altímetro, en un 36 % en el horizonte artificial y en un 30 % para el velocímetro.

## Discusión

Esta investigación determinó diferencias en el comportamiento de la atención visual de pilotos expertos y novatos durante las fases de aproximación y aterrizaje, a través del análisis de métricas relacionadas con el rendimiento del sistema visual. Es importante resaltar los notables aportes desarrollados en previos estudios, ya que permitieron establecer pautas metodológicas para este proyecto; sin embargo, la mayoría de ellos se vieron afectados por brechas de carácter técnico que limitaron el alcance y sus resultados.

Por ejemplo, Kramer (1994) y Bellenkes *et al.* (1997) identificaron diferencias basadas en la experiencia de los pilotos, donde el tiempo promedio de atención visual por visita eran más prolongados en novatos que en expertos; sin embargo, esta investigación se centró en la fase de crucero para condiciones IFR y VFR. Katoh (1997) estableció un modelo para discriminar varios tipos de vuelos analizando la amplitud de las sacadas de los pilotos, pero este estudio no se centró en áreas de interés específicas ni en métricas de tiempo en atención visual, ya que el equipo de medición con el que contaba en ese entonces no tenía la capacidad de extraer la información necesaria del sistema visual, por tal motivo se obtuvieron resultados inconclusos. Kasarskis *et al.* (2001) determinaron diferencias en los patrones de exploración visual en función de la experticia en un simulador de vuelo con un equipo de rastreo ocular que registraba solo cuatro áreas de interés en el aterrizaje (fuera de la cabina y otros tres instrumentos más). Dehais *et al.* (2008) exploraron el patrón visual de pilotos expertos durante vuelo real en un tráfico estándar y los efectos que generaban condiciones degradadas (falla de un motor) en la atención a los instrumentos de vuelo durante la fase de aterrizaje; sin embargo, las limitaciones tecnológicas para ese entonces (equipo de rastreo ocular), solo permitieron una recolección de datos a una reducida área y al interior de la cabina exclusivamente.

En el presente estudio se tuvieron en cuenta tres aspectos para la fase de aproximación y aterrizaje: 1) comparar la cantidad de visitas a AI particulares mediante el sistema visual ejecutado por dos grupos diferentes de pilotos, y determinar si existe una correlación significativa de esta métrica con respecto a la experticia; 2) establecer diferencias significativas por parte de pilotos expertos y novatos

con respecto al tiempo empleado dentro y fuera de la cabina, en combinación con dos tipos de condiciones: óptimas y degradadas; 3) determinar diferencias significativas entre grupos de experticia y condiciones de vuelo con respecto al tiempo de atención visual empleado en los cuatro instrumentos de vuelo más visitados durante la fase de aproximación y aterrizaje.

Numerosos estudios han argumentado que la fase de aproximación y aterrizaje son las fases más críticas en el entrenamiento de vuelo, debido al reducido margen de error permitido en este corto periodo de tiempo (Bureau of Air Safety Investigation, 2006; CASA, 2007, 2013; Gibb & Gray, 2016). Por lo tanto, la optimización de la atención visual es un requerimiento esencial para mantener la trayectoria de planeo deseado, control de potencia y adecuada actitud con referencia a los ejes vertical, lateral y longitudinal (FAA, 2004). Para ejecutar correctamente esta maniobra en condiciones visuales, se requiere un efectivo proceso de monitoreo cruzado, que involucra mayoritariamente el escaneo visual fuera de la cabina, sin embargo, varios parámetros tienen que ser frecuentemente verificados dentro de la cabina a través de los instrumentos de vuelo.

Los resultados obtenidos en el primer objetivo planteado y sus respectivos comparativos con respecto a las áreas de interés visitadas durante los dos minutos que se emplearon en cada aproximación y aterrizaje, confirmó que todos los participantes emplearon la mayoría del tiempo efectuando visitas a las áreas externas (ventana frontal). Al interior de la cabina, el indicador de velocidad fue el instrumento más visitado, teniendo en cuenta su importancia para esta fase de vuelo, ya que el control de velocidad incorpora información relativa a los límites de pérdida por baja velocidad, ángulo de inclinación de la aeronave y ajuste de potencia, parámetros indispensables para una maniobra segura. Otros instrumentos que reportaron visitas al menos por el 80 % de los participantes de cada grupo fueron el indicador Manifold, el horizonte artificial y el altímetro. En el caso de este último, una mayor proporción del grupo de novatos visitó este instrumento en comparación con los expertos, lo cual es coherente con los hallazgos de Kasarskis *et al.* (2001).

Es posible establecer la hipótesis de que pilotos expertos reducen el uso del altímetro y aumentan el número de visitas a la imagen de la pista, mediante la interpretación del régimen de cambio de la forma o tamaño de esta a través de la aplicación de un concepto llamado “despliegue”. Este término se refiere al ensanchamiento del frente de la pista y el estrechamiento del extremo lejano de esta, cuando el punto de referencia es más bajo (baja altura), existirá más despliegue y se creará un ángulo visual mayor forma-



do por la intersección de la pista y la proyección del ancho más lejano de la pista (figura 10B). Por tanto, el cambio en el despliegue puede avisar a un piloto del cambio en la altitud. A una altura constante (figura 10A), el ángulo que se forma es constante, pero a medida que el piloto desciende y se acerca a la pista, el ángulo de despliegue aumenta. Si se desciende a una velocidad constante, existirá

un régimen de cambio del despliegue constante. Por tanto este concepto permitiría a pilotos expertos mantener la trayectoria de planeo deseada, que no solo soportaría la estimación de altura, sino también la distancia al umbral de pista (Gibb & Gray, 2016). Sin embargo, este análisis requerirá mayor investigación al respecto para corroborar la influencia de este fenómeno para el uso del altímetro.

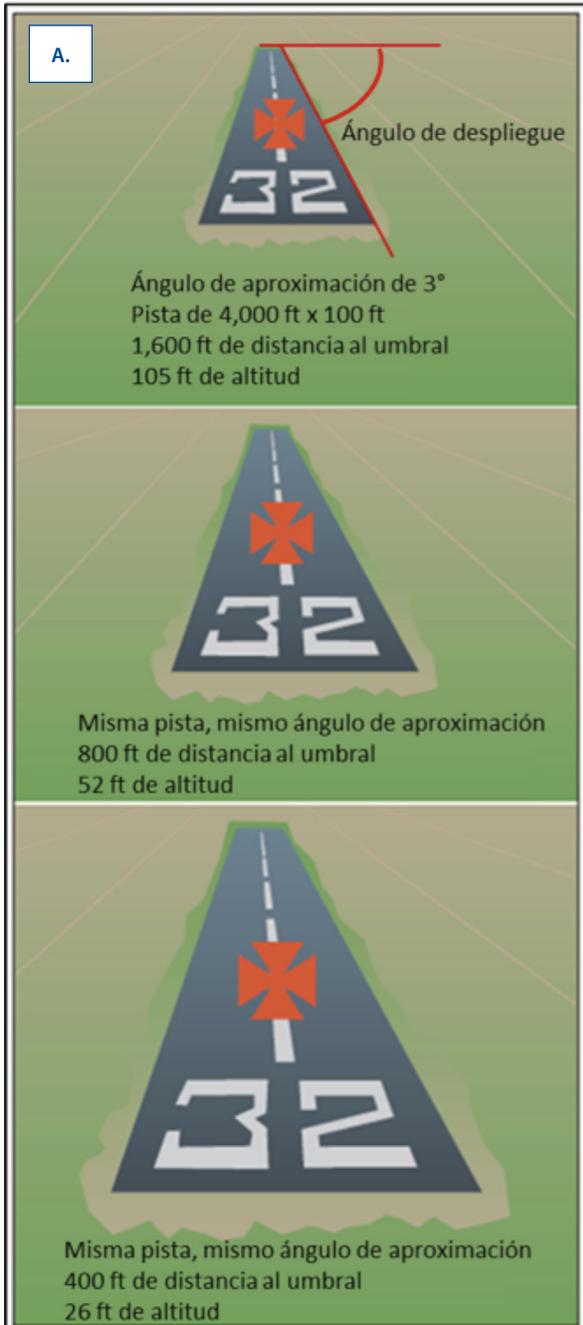


Figura 10. Concepto de “despliegue”. La figura (A) ilustra una trayectoria de planeo constante durante la fase de aproximación, el despliegue permanece constante en diferentes altitudes y distancias con referencia al umbral de pista y permite una aproximación estabilizada mediante el uso de referencias visuales. En contraste, la figura (B) describe tres escenarios diferentes donde el despliegue difiere y la combinación de altitud y distancia conlleva a ángulos de aproximación diferentes

Fuente: FAA, 2004

Por otro lado, una proporción mucho menor de participantes en ambos grupos visitaron el resto de los instrumentos de vuelo (por debajo del 50 % de los participantes); sin embargo, es importante notar que los pilotos expertos los visitaron en mayor proporción en comparación con los pilotos novatos, ampliando sus visitas a instrumentos primarios, secundarios, así como a otras áreas de interés que no fueron cubiertas en el análisis estadístico de esta investigación. Estas diferencias pueden apreciarse cualitativamente en la figura 11.

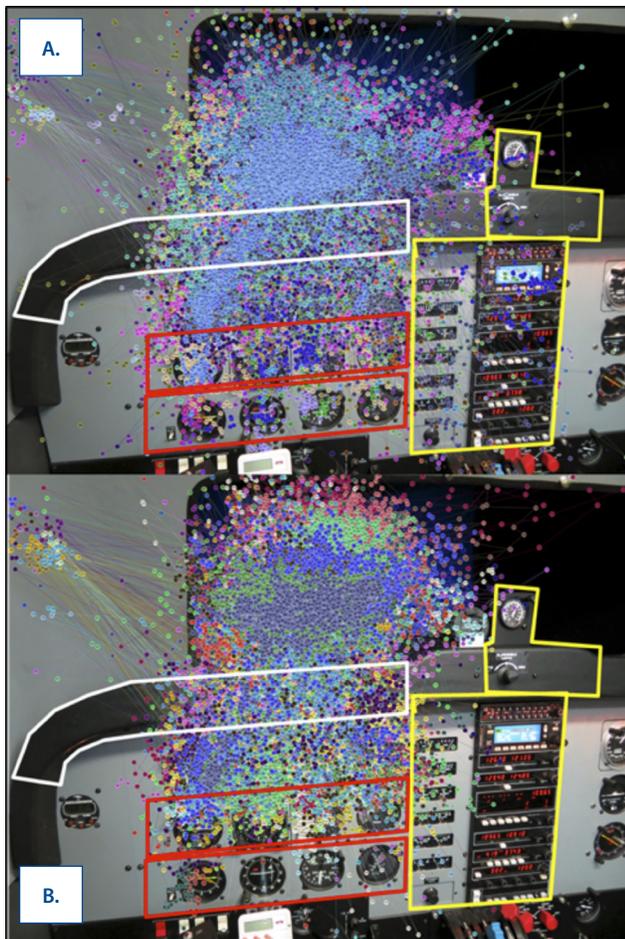


Figura 11. Gráfica de las sacadas y visitas realizadas por cada uno de los grupos. El área bordeada en color amarillo corresponde al equipo adicional instalado en la aeronave, el sector en color blanco es la transición entre el área exterior, en color rojo se encuentran los instrumentos de vuelo auxiliares. La imagen superior (A) corresponde a las visitas del grupo de expertos, donde se aprecia mayor frecuencia de visitas y sacadas, evidenciando un monitoreo cruzado más activo. Por el contrario, el grupo de novatos (B) exhibió una reducción en la exploración visual en las regiones demarcadas

Fuente: elaboración propia

A diferencia de los hallazgos encontrados en anteriores estudios, no existía registro del sector de transición entre el

exterior y el interior de la cabina. Esta área de transición, la cual es un sector intermedio entre las dos AI mencionadas, tuvo un promedio de visitas para el grupo de expertos en un 50 % mayor con relación al grupo de principiantes. Esto demuestra un monitoreo cruzado más dinámico en pilotos expertos, permitiéndoles realizar transiciones más rápidas entre el ambiente externo y los instrumentos de vuelo, los cuales son monitoreados constantemente.

Asimismo, se halló una correlación positiva y significativa al nivel  $p < 0,05$  entre la experticia y el indicador de velocidad, y de igual manera con el área de transición. Este resultado es consistente con los resultados de estadística descriptiva mencionados anteriormente, y confirma un escaneo más activo y frecuente en uno de los instrumentos de vuelo más importantes para el comportamiento de la aeronave. Esto puede explicar un aumento en la proeficiencia adquirida por parte del grupo de expertos, desarrollado a través de la experiencia en las actividades de vuelo demostrado en el chequeo cruzado con un régimen de escaneo más eficiente (menor tiempo de fijación y más visitas efectuadas).

En segundo lugar, se analizó el comportamiento del sistema visual para determinar las diferencias entre ambos grupos durante el tiempo empleado dentro y fuera de la cabina, lo cual tiene implicaciones directas en la vigilancia del espacio aéreo, en la reducción de la probabilidad de proximidad o colisión con otros tráficos en vuelo, así como la incursión en pista con otras aeronaves en tierra. De acuerdo con la Administración Federal de Aviación (FAA), durante un descenso VFR el escaneo visual del entorno externo es una tarea esencial del piloto, la cual debe realizarse a través de una técnica eficaz que permita abarcar los instrumentos de vuelo al interior de la cabina (ATSB, 2004; FAA, 2014). Por tal motivo, y teniendo en cuenta las limitaciones visuales del campo de visión, es necesario una activa exploración con movimientos oculares cortos y regulares que proporcionen una cobertura efectiva a la información esencial, señales y referencias visuales fuera de la cabina.

Adicionalmente, la FAA recomienda a los pilotos desarrollar su propio patrón de exploración que asegure comodidad y eficacia en la ejecución de la tarea. La vigilancia del espacio aéreo no puede superar los 10 grados por cada segmento de exploración y debe realizarse una fijación de al menos 1 segundo para permitir la detección de posibles amenazas en la trayectoria de vuelo. Además, el Manual de Información Aeronáutica (FAA, 2014) indican que las tareas visuales dentro de la cabina no deben durar más del 25 al 35 % del tiempo, o no más de 4 a 5 segundos por cada 16 segundos fuera de la cabina. Para este proceso de chequeo cruzado, se requiere priorizar la atención a los instrumentos



de vuelo, con el fin de controlar los parámetros de la aeronave y secuencialmente dirigir la atención afuera. Aunque los organismos reguladores aeronáuticos han determinado algunas instrucciones generales para el vuelo VFR y algunas investigaciones se han centrado en este tema en la fase de crucero, ningún estudio previo había examinado la fase de aproximación y aterrizaje utilizando la metodología implementada en esta investigación.

Los hallazgos de este estudio mostraron diferencias significativas entre pilotos expertos y novatos, donde esos últimos emplearon 85.4 % del tiempo fuera de la cabina y los expertos 77.5 %. Por el contrario, los novatos requirieron 10.1 % del tiempo adentro y los expertos 13.8 %. Por otro lado, los expertos destinaron mayor tiempo en el área de transición entre el exterior y el interior de la cabina, como se mencionó anteriormente. Es importante tener en cuenta que las fijaciones oculares no puede ser registradas la totalidad del tiempo por el equipo de rastreo ocular, esto es debido al hecho de que el parpadeo ocupa aproximadamente entre el 5 al 10 % del tiempo (Tobii Pro, 2016). Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, este hallazgo sugiere que los expertos distribuyen el tiempo disponible para mirar fuera de la cabina a otras áreas dentro de la cabina y al sector de transición (entre el interior y el exterior de la cabina) mediante un proceso de escaneo más activo debido al aumento del número de visitas a las diferentes áreas de interés. Asimismo, es importante mencionar que los expertos hicieron mayor número de visitas a la ventana frontal, esto posiblemente contrarresta el menor tiempo empleado mirando fuera de la cabina en el simulador de vuelo.

Otra cuestión importante que surge de estos hallazgos es que las condiciones degradadas produjeron efectos significativos en ambos grupos de pilotos. El porcentaje de tiempo empleado en condiciones óptimas para ambos grupos de pilotos fuera y dentro de la cabina fue del 76.9 % y 17.1 % respectivamente, mientras que la proporción en condiciones de turbulencia moderada fue de 8.53 y 8.3 %. Este hallazgo tiene implicaciones en el rendimiento del piloto debido a la reducción de la atención dentro de la cabina en condiciones degradadas, junto con el aumento de la carga de trabajo adicional como resultado de la alteración de la estabilidad dinámica en la aeronave creada por el efecto de turbulencia. Por lo tanto, hay un menor tiempo disponible para realizar el proceso de chequeo cruzado a los instrumentos de vuelo, lo que reduce la probabilidad de percepción visual a la mitad del tiempo y consecuentemente produciría una mayor degradación de los parámetros de vuelo requeridos para mantener la aeronave estabilizada. Sin embargo, podría darse el caso que las condiciones degradadas produzcan efectos favorables

en el escaneo del espacio aéreo debido al incremento de la asignación de tiempo afuera de la cabina.

Un hallazgo cualitativo interesante obtenido durante el análisis de los mapas de calor es que los expertos fijan su atención de manera más condensada fuera de la cabina en el eje vertical y ligeramente más expandida en el eje horizontal, cuando la ventana se divide en nueve secciones, de acuerdo con la figura 12. Esto sugiere que los pilotos novatos enfocan su vista más distante que el otro grupo, lo cual influye en el grado de exactitud en juzgar la cercanía al terreno. Además, debido a que los pilotos expertos tienen una mirada más amplia en el eje lateral, se hace un uso más efectivo de las referencias visuales circundantes y otras señales diferentes a la pista, lo que puede proporcionar una perspectiva más amplia que podría mejorar la orientación visual (Gaur, 2005).

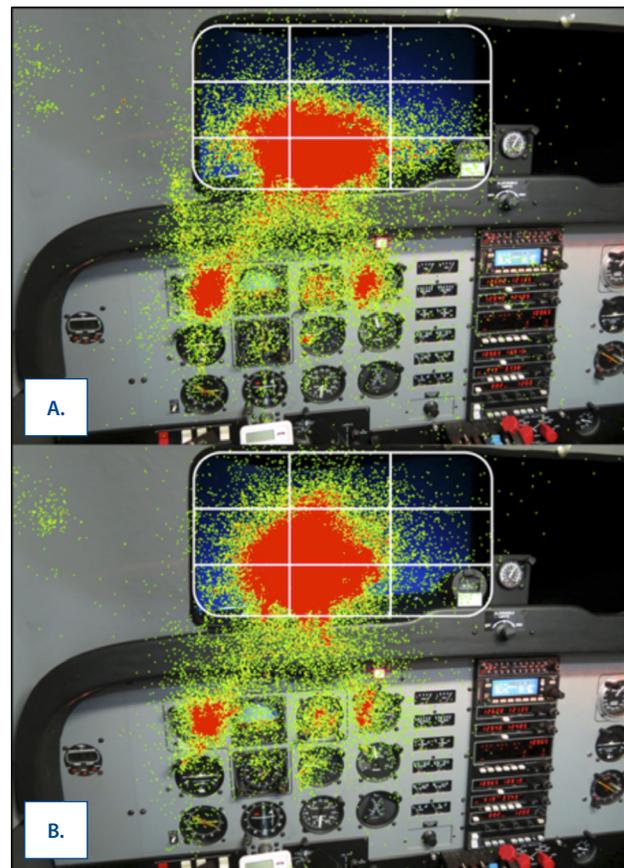


Figura 12. Diferencias del mapa de calor fuera de la cabina. La ventana frontal se dividió en 9 secciones y se observaron diferencias cualitativas en los expertos (A) y los cadetes (B). Los cadetes fijan su atención visual más adelante que los expertos y estos últimos ampliaron en mayor proporción el patrón de exploración en el eje horizontal. Por tanto, las transiciones entre el área exterior e interior de la cabina son más cortas en el grupo de expertos, lo que implica una reducción de la distancia de las sacadas.

Fuente: elaboración propia

Por último, se analizó el tercer objetivo relacionado con el tiempo de atención visual empleado en los cuatro instrumentos al interior de la cabina que más fueron observados por los dos grupos de pilotos. El indicador Manifold y de actitud (instrumentos de control), junto con el indicador de velocidad y altímetro (instrumentos de rendimiento), proporcionan la información esencial para un aterrizaje adecuado.

Contrariamente a lo esperado, esta investigación no encontró diferencias significativas entre ambos grupos en cuanto al tiempo de fijación de estos instrumentos en la fase aproximación y aterrizaje al nivel de  $p < 0,05$ . A pesar de que los expertos emplearon en promedio más tiempo y aumentaron el número de visitas a dichos instrumentos (excepto el altímetro), la variación en los resultados para cada participante y la desviación estándar obtenida en los resultados de cada grupo fue tan elevada que no permitió establecer diferencias significativas con análisis de estadística inferencial. Sin embargo, los resultados cualitativos sugieren que los expertos en general desarrollan un patrón de exploración más extenso, cubriendo más Al interior de la cabina. Asimismo, de acuerdo con los tiempos promedio obtenidos con estadística descriptiva, se obtuvieron valores más altos en el tiempo de atención visual utilizado en todos los instrumentos de vuelo por parte del grupo de expertos, a excepción del coordinador de virajes.

Con respecto a la proporción de tiempo usada en cada instrumento de vuelo, es importante tener en cuenta el corto periodo de tiempo utilizado por los pilotos en general para extraer la información necesaria. Por ejemplo, se utilizó solo el 5.2 % de los dos minutos que duró el experimento en fijar atención al velocímetro, el 2.4 % para el indicador Manifold, el 1.4 % para el altímetro y solo el 1 % para el indicador de actitud. De acuerdo con el modelo de procesamiento de la información (Harris, 2011), durante estos cortos periodos de tiempo, los procesos de registro sensorial y percepción permiten obtener suficiente información para el correcto desarrollo de las operaciones cognitivas y mentales, las cuales determinarían una respuesta apropiada y su correspondiente resultado satisfactorio de desempeño.

Finalmente, el análisis ANOVA indicó que durante condiciones degradadas en una aproximación los grupos presentaron diferencias en el tiempo empleado en el velocímetro, altímetro e indicador de actitud, donde se observó una reducción en la atención visual considerable con respecto a las condiciones óptimas. Este hallazgo consistente en una reducción en la asignación de atención para los pilotos durante el proceso de verificación cruzada en condiciones de turbulencia, demuestra la importancia y

necesidad de prestar atención en estas condiciones a otras áreas de interés, en especial al exterior de la cabina, la cual es acorde con los resultados obtenidos en el análisis del objetivo anterior con respecto a la disminución del tiempo de duración dentro de la cabina en más del 50 %, evidenciando con esto el notable incremento de la carga de trabajo que esta situación demanda.

## Conclusiones y recomendaciones

El propósito de la presente investigación fue caracterizar los patrones de exploración visual de pilotos expertos y novatos, con el fin de establecer diferencias entre ambos grupos, y de esta manera determinar cuáles áreas de interés son las de mayor importancia para cada grupo y con qué frecuencia el sistema visual requiere su percepción y atención visual durante la aproximación y aterrizaje. Lo anterior teniendo en cuenta las implicaciones de estas fases de vuelo en materia de seguridad aérea, donde el factor humano es el mayor contribuyente en la ocurrencia de incidentes y accidentes.

El rendimiento humano, asociado con la experticia, representa un tema de especial interés en un sinnúmero de actividades, donde el conocimiento basado en habilidades es esencial para el correcto desempeño. Para el caso de la aviación la experiencia representa una fuente inestimable de conocimiento, teniendo en cuenta que pilotos experimentados saben exactamente qué áreas de interés observar, cuándo y con qué frecuencia.

Los resultados evidenciaron una correlación positiva entre la experiencia y la frecuencia de visitas al velocímetro y el área de transición entre el interior y el exterior de la cabina. Asimismo, se evidenció una cobertura más amplia a los instrumentos de vuelo, navegación y del motor por parte del grupo de expertos. Los instrumentos de vuelo más relevantes para esta fase de vuelo fueron el velocímetro, el indicador Manifold y el horizonte artificial, que fueron visitados por el 95 % de los participantes. El altímetro fue visitado en menor proporción por el grupo de expertos y mostró menos importancia para los pilotos experimentados durante el aterrizaje en condiciones visuales.

Contrariamente a las expectativas, el tiempo empleado en la atención visual para esos cuatro instrumentos no reveló diferencias significativas entre los grupos; sin embargo, las condiciones de vuelo (turbulencia vs. óptimas) tuvieron efectos notables en la asignación de atención para ambos grupos de pilotos que podrían afectar el rendimiento humano durante la fase de aproximación y aterrizaje, debido a la reducción del tiempo empleado al interior de la cabina.



Por otro lado, los expertos emplearon un tercio más de tiempo mirando dentro de la cabina lo que sugiere una mayor asignación de atención a los parámetros de vuelo que se extraen de los instrumentos de vuelo. Por el contrario, los pilotos novatos y expertos pasaron el 85% y el 76% de tiempo respectivamente mirando fuera de la cabina, lo cual es consistente con las recomendaciones de la FAA para mantener una adecuada vigilancia del espacio aéreo. Aunque los expertos utilizaron menos tiempo fuera de la cabina, el área de transición entre la ventana frontal y los instrumentos de vuelo en la cabina fue visitada alrededor de un 50 % con más frecuencia por ellos, lo que evidencia un proceso de chequeo cruzado mucho más activo entre el ambiente externo y los instrumentos de vuelo.

A pesar de que el sistema visual no está directamente relacionado con el control de la aeronave y el proceso de monitoreo solo se clasifica como parte de las habilidades no técnicas del CRM, la asignación adecuada de la atención visual mejora la percepción y procesamiento de los datos críticos disponibles requeridos en la cabina para comprender el estado actual y proyectar el estado futuro de la trayectoria de vuelo. Por tanto, una mejor comprensión del patrón sistemático seguido por los pilotos en su chequeo cruzado podría reducir errores, mitigar problemas operacionales e incrementar la seguridad aérea.

Con el fin de proporcionar un diagnóstico general y retroalimentación con respecto al rendimiento visual de los participantes en la ejecución del experimento, esta investigación desarrolló un informe individual para cada uno de ellos, que incluyó mapas de calor y gráficos de sacadas y visitas de los diferentes vuelos realizados, así como el resumen de las métricas analizadas (duración en AI, tiempo de fijación y número de visitas). Asimismo, esta investigación confirmó hallazgos de previos estudios, contribuyó a la comprensión del proceso de monitoreo en la fase de aproximación y aterrizaje en condiciones visuales, y proporcionó una serie de evidencias relacionadas con el proceso de escaneo de los pilotos dentro y fuera de la cabina en función de la experticia, que previamente no había sido abordado mediante esta metodología en un simulador de vuelo.

Con respecto a los factores técnicos relacionados con el análisis de la información, una serie de limitaciones deben ser consideradas, ya que a pesar de que el experimento se desarrolló para condiciones diurnas y nocturnas, en combinación con condiciones óptimas y de turbulencia para ambos grupos de experticia, se contempló el análisis únicamente para condiciones visuales. Por tal motivo, el análisis de la totalidad de los datos extraídos durante este estudio preliminar se limitó a un estudio de estadística

inferencial ANOVA de 2 vías, en lugar de un ANOVA de 3 vías, debido a que los datos extraídos no presentaban una distribución normal e igualdad de varianzas. Por lo tanto, la información obtenida para condiciones nocturnas fue descartada en el estudio. Esta información podrá ser analizada por separado en una futura investigación utilizando un análisis ANOVA de 2 vías o incluso un ANOVA de 3 vías, a través del empleo del modelo mixto lineal generalizado con distribución de Poisson.

Por otro lado, el equipo de rastreo ocular utilizado en esta investigación ofreció ventajas significativas en comparación con otros equipos utilizados en previas investigaciones, debido a sus mejoras en ergonomía permitiendo una interacción mucho más amigable con el usuario. Por otro lado, las capacidades del software para la extracción y análisis de la información facilitaron la conversión de las métricas fisiológicas en valores cuantitativos. Sin embargo, algunos participantes mostraron alta sensibilidad a los cambios de iluminación durante la ejecución de las grabaciones, lo que provocó una reducción de la calidad de las muestras obtenidas. Por tanto, la homogeneidad de los datos registrados por el equipo fue un requisito fundamental para obtener resultados objetivos, lo cual obligó a realizar un procedimiento de calibración después de cada medición, con el fin de obtener datos confiables para el respectivo análisis y asegurar la validez interna de la investigación.

Es fundamental tener en cuenta que los resultados de esta investigación fueron obtenidos en un simulador de vuelo genérico Frasca 242, bajo los mismos parámetros de vuelo y escenarios controlados para cada participante, lo cual permitió generar las condiciones propicias para analizar el comportamiento del sistema visual de los pilotos en la fase de aproximación y aterrizaje. Además, el simulador de vuelo tuvo la ventaja de evaluar a los pilotos en condiciones turbulentas controladas, permitiendo la reproducción de este escenario de manera fiable y controlada para los análisis estadísticos. Todas estas consideraciones aseguraron que el diseño del experimento cumpliera con las condiciones del principio de causa y efecto, y por consiguiente obteniendo la validez interna durante las observaciones y los resultados.

A pesar de que los simuladores replican las condiciones ambientales y parámetros de vuelo, las especificaciones técnicas de estos podrían producir efectos diferentes en el participante con respecto a la experiencia que perciben en un escenario real de vuelo, ya que los constantes cambios de actitud, potencia y ajustes de las superficies de control realizadas por el piloto, así como los efectos de las condiciones ambientales, pueden estimular los sistemas vestibular y somatosensorial, y por lo tanto podrían

influenciar en el comportamiento del sistema visual. El simulador de vuelo utilizado en esta investigación tiene este tipo de limitaciones técnicas, ya que carece de movimiento. Por tal motivo, un estudio en vuelo real en una futura investigación con similar metodología sería una opción ideal para validar o complementar los resultados obtenidos en el simulador. Los hallazgos encontrados podrían generalizarse al entorno y a las situaciones en las que el fenómeno de este estudio ocurriría naturalmente, y entonces la validez ecológica se mejoraría ampliamente. Es importante destacar que el uso de dispositivos de rastreo ocular como los usados en este estudio, no perturbaron la actividad de los participantes en el simulador y tienen la capacidad de operar en condiciones de vuelo real para futuras investigaciones, sin incrementar el riesgo en la operación.

Se hace necesaria una mayor investigación en este campo, para analizar y comprender mejor la atención visual del piloto en la cabina de mando con equipos de rastreo ocular que pudiera incorporar sistemas con sensores hápticos en las manos, con las cuales los pilotos accionan y operan los diferentes controles e interruptores para entender desde una perspectiva más amplia su comportamiento y rendimiento. Esta integración podría constituir una valiosa fuente de información para medir y evaluar de manera cuantitativa las habilidades no técnicas relacionadas con el proceso de monitoreo cruzado y alerta situacional, tal como sugiere la Autoridad Aeronáutica Australiana CASA (2014).

Adicionalmente, este campo de ingeniería de factores humanos ofrece una amplia gama de análisis y evaluación del rendimiento visual en el campo de la aviación que se puede ampliar a diferentes procesos de monitoreo (i.e. pasivo, activo, periódico, predictivo), niveles de rendimiento (basados en habilidades, normas o conocimiento), condiciones de vuelo (VFR, IFR, acrobacia, formación), fases de vuelo (despegue, ascenso, vuelo a nivel, etc.) o relacionados con procedimientos normales así como para análisis de fallas. En esta diversidad de escenarios, la asignación de atención y la carga de trabajo varía sustancialmente, lo cual permitiría la generación de nuevo conocimiento. Por último, y considerando las deficiencias de vuelo en individuos particulares, la aplicación de esta tecnología podría establecer el rendimiento de la atención visual de un sujeto durante la ejecución de una tarea o procedimiento específico, con el fin de proporcionar un diagnóstico que permita comprender posibles causas que generan bajo rendimiento que haya sido detectado previamente.

## Referencias

- ATSB. (2004). *Limitations of the See-and-Avoid Principle*. Retrieved from [https://www.atsb.gov.au/media/4050593/see\\_andavoid\\_report\\_print.pdf](https://www.atsb.gov.au/media/4050593/see_andavoid_report_print.pdf)
- ATSB. (2016). *Aviation Occurrence Statistics: 2004-2016*. Retrieved from [https://www.atsb.gov.au/media/5474110/ar2014084\\_final.pdf](https://www.atsb.gov.au/media/5474110/ar2014084_final.pdf)
- Bellenkes, A. H., Wickens, C. D., & Kramer, A. F. (1997). Visual scanning and pilot expertise: the role of attentional flexibility and mental model development. *Aviation, space, and environmental medicine*.
- Bureau of Air Safety Investigation. (2006). *Human Factors in fatal aircraft accidents*. Retrieved from [https://www.atsb.gov.au/media/28363/sir199604\\_001.pdf](https://www.atsb.gov.au/media/28363/sir199604_001.pdf)
- Carrasco, M. (2011). Visual attention: The past 25 years. *Vision research*, 51(13), 1484-1525.
- CASA. (2007). *Human factors analysis of Australian aviation accidents vs. USA*. Retrieved from <https://www.atsb.gov.au/media/29953/b20040321.pdf>
- CASA. (2013). *Aviation Occurrence Statistics 2004-2013*. Retrieved from [https://www.atsb.gov.au/media/5474110/ar2014084\\_final.pdf](https://www.atsb.gov.au/media/5474110/ar2014084_final.pdf)
- CASA. (2014). *Teaching and assessing non-technical skills for single pilot operations*. Retrieved from [https://www.casa.gov.au/sites/g/files/net351/f/\\_assets/main/newrules\\_parts/061/download/draft-ac61-08.pdf](https://www.casa.gov.au/sites/g/files/net351/f/_assets/main/newrules_parts/061/download/draft-ac61-08.pdf)
- CASA. (2015). *Aerial application safety 2014 2015*. Retrieved from [https://www.atsb.gov.au/media/5313607/Aerial%20application%20safety\\_2014%202015.pdf](https://www.atsb.gov.au/media/5313607/Aerial%20application%20safety_2014%202015.pdf)
- Civil Aviation Authority. (2002). *Flight Crew Training Cockpit Resource Management (CRM)*. Retrieved from <http://publicapps.caa.co.uk/modalapplication.aspx?appid=11&mode=detail&id=664>
- Colvin, K., Dodhia, R. M., Belcher, S., & Dismukes, K. (2004). *Scanning for visual traffic: An eye tracking study*. San Jose State University NASA Ames Research Center.
- Dehais, F., Causse, M., & Pastor, J. (2008). *Embedded eye tracker in a real aircraft new perspectives on pilot aircraft interaction monitoring*.
- Duchowski, A. (2007). Eye tracking methodology: Theory and practice. *Springer Science & Business Media*, 373.
- Dyer, A. G., Found, B., Merlino, M. L., Pepe, A. L., Rogers, D., & Sita, J. C. (2014). Eye movement evaluation of signature forgeries:



- Insights to forensic expert evidence. *Current Trends in Eye Tracking Research*, 211-223. Springer.
- Eurocontrol. (2016). *Cross-Checking Process*. Retrieved from [http://www.skybrary.aero/index.php/Cross-checking\\_Process](http://www.skybrary.aero/index.php/Cross-checking_Process)
- FAA. (2004). *Airplane Flying Handbook*. Retrieved from <http://large.stanford.edu/courses/2013/ph240/eller1/docs/FAA-H-8083-3B.pdf>
- FAA. (2014). *Aeronautical Information Manual*. Retrieved from [https://www.faa.gov/air\\_traffic/publications/media/AIM\\_Basic\\_dtd\\_10-12-17.pdf](https://www.faa.gov/air_traffic/publications/media/AIM_Basic_dtd_10-12-17.pdf)
- Flin, R. (2010). CRM (nontechnical) skills-applications for and beyond the flight deck. *Crew Resource Management*, 181-204.
- Fouse, A. S., Weibel, N., Hutchins, E., & Hollan, J. D. (2011). *ChronoViz A System for Supporting*. Retrieved from <http://hci.ucsd.edu/hollan/Pubs/p299-fouse.pdf>
- Gaur, D. (2005). *Human factors analysis and classification system applied to civil aircraft accidents in India*. Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/asma/ase/2005/00000076/00000005/art00015>
- Gegenfurtner, A., Lehtinen, E., & Säljö, R. (2011). Expertise differences in the comprehension of visualizations: A meta-analysis of eye-tracking research in professional domains. *Educational Psychology Review*, 23(4), 523-552.
- Gibb, R., & Gray, R. (2016). *Aviation visual perception: Research, misperception and mishaps*. Routledge.
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), 534-537.
- Harris, D. (2011). *Human performance on the flight deck*. Ashgate Publishing, Ltd.
- Henderson, J. M., Brockmole, J. R., Castelano, M. S., & Mack, M. (2007). Visual saliency does not account for eye movements during visual search in real-world scenes. *Eye movements: A window on mind and brain*, 537-562.
- Itti, L., & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision research*, 40(10), 1489-1506.
- Kasarskis, P., Stehwien, J., Hickox, J., Aretz, A., & Wickens, C. (2001). *Comparison of expert and novice scan behaviors during VFR flight*. Paper presented at the Proceedings of the 11th International Symposium on Aviation Psychology.
- Katoh, Z. (1997). Saccade amplitude as a discriminator of flight types. *Aviation, space, and environmental medicine*, 68(3), 205-208.
- Kramer, A., Tham, M., Konrad, C., Wickens, C., & Lintern, G. (1994). *Instrument scan and pilot expertise*. Paper presented at the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings.
- Kustov, A. A., & Robinson, D. L. (1996). *Shared neural control of attentional shifts and eye movements*.
- Land, M. F., & Lee, D. N. (1994). Where do we look when we steer. *Nature*.
- Land, M. F., & McLeod, P. (2000). From eye movements to actions: how batsmen hit the ball. *Nature neuroscience*, 3(12), 1340-1345.
- Land, M. F., & Tatler, B. W. (2001). Steering with the head: The visual strategy of a racing driver. *Current Biology*, 11(15), 1215-1220.
- Leedy, P., & Ormrod, J. (2015). *Practical Research*. Pearson Ed. 11 ed.
- NASA. (2017). *Flight cognition laboratory*. Retrieved from <https://human-factors.arc.nasa.gov/ihs/flightcognition/research.html>
- Nodine, C. F., Mello-Thoms, C., Kundel, H. L., & Weinstein, S. P. (2002). Time course of perception and decision making during mammographic interpretation. *American Journal of Roentgenology*, 179(4), 917-923.
- Senso Motoric Instruments. (2011). *Basic definition of terms-SMI2*. Retrieved from [https://www.smivision.com/wp-content/uploads/2016/10/smi\\_flyer\\_connected\\_gaze-motion.pdf](https://www.smivision.com/wp-content/uploads/2016/10/smi_flyer_connected_gaze-motion.pdf)
- Shapiro, K., & Raymond, E. (1989). *Training efficient oculomotor strategies enhances skill acquisition*.
- Tatler, B. W. (2014). Eye movements from laboratory to life. *Current trends in eye tracking research*, 17-35. Springer.
- Tobii Pro. (2016). *Tobii Pro Glasses 2 User Manual*.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive psychology*, 12(1), 97-136.
- Weibel, N., Fouse, A., Emmenegger, C., Kimmich, S., & Hutchins, E. (2011). *Let's look at the cockpit: Exploring , mobile eye-tracking for observational research on the flight deck*.
- Wickens, C. D., Kasarskis, P., Stehwien, J., Hickox, J., & Aretz, A. (2001). *Comparison of expert and novice scan behaviors during VFR*.