

Capítulo 5

Propuesta de rediseño

Se realiza la propuesta de rediseño del cockpit en una maqueta (de tipo anteproyecto) a escala 1:1 para que los pilotos la evalúen directamente en volumen, sentándose delante y manipulándola, y puedan dar reacciones más objetivas que si la hubieran visto en dibujo. Las características de este rediseño se presentan a continuación, y después las reacciones de los tres pilotos a quien se lo presentó (pilotos nº 10, 13 y 14).

5.1 Características del rediseño

5.1.1 Diseño de instrumentos e indicaciones

Se utilizan en la propuesta Pantallas de Visualización de Datos (como en los glass-cockpit actuales) por las ventajas que aportan respecto a los instrumentos electromecánicos tradicionales a nivel del mantenimiento. Sin embargo, se cambia el diseño gráfico de las indicaciones de la siguiente manera:

5.1.1.1 Indicaciones de altitud, de actitud, de velocidad (nudos), de velocidad vertical

Para estas indicaciones, se retoma el diseño tradicional en forma de relojes (ver figuras 19 y 20) ya que los pilotos comienzan su aprendizaje y su carrera profesional llevando aviones que presentan este diseño. Pasar al diseño del Primary Flight Display de los glass-cockpit actuales supone para los pilotos un esfuerzo de adaptación considerable («es como si aprendieras a volar con la mano derecha, y te tienes que pasar después a la mano izquierda», Piloto nº7) y se pretende justamente evitar que los pilotos tengan que realizar este esfuerzo. La indicación de velocidad en número de Mach se realiza mediante un 'reloj' (y no mediante una indicación escrita como en los glass-cockpit existentes).

Cada instrumento reproducido en pantalla está rodeado de un único chasis de plástico (que presenta agujeros para dejar ver cada instrumento) con el fin de:

- esconder los tornillos de fijación de las pantallas (como en los glass-cockpit actuales)
- crear marcos visuales para ayudar la percepción. Se deduce que las dificultades perceptivas que los pilotos experimentan al comenzar a utilizar el Primary Flight Display vienen en parte de la disminución de marcos gráficos propiciada por el efecto luminoso de las pantallas (siendo estos marcos los que facilitan la percepción). El chasis de plástico que rodea cada conjunto de instrumentos permite la aparición de pequeñas



Figura 19. Visión de conjunto de la propuesta de rediseño

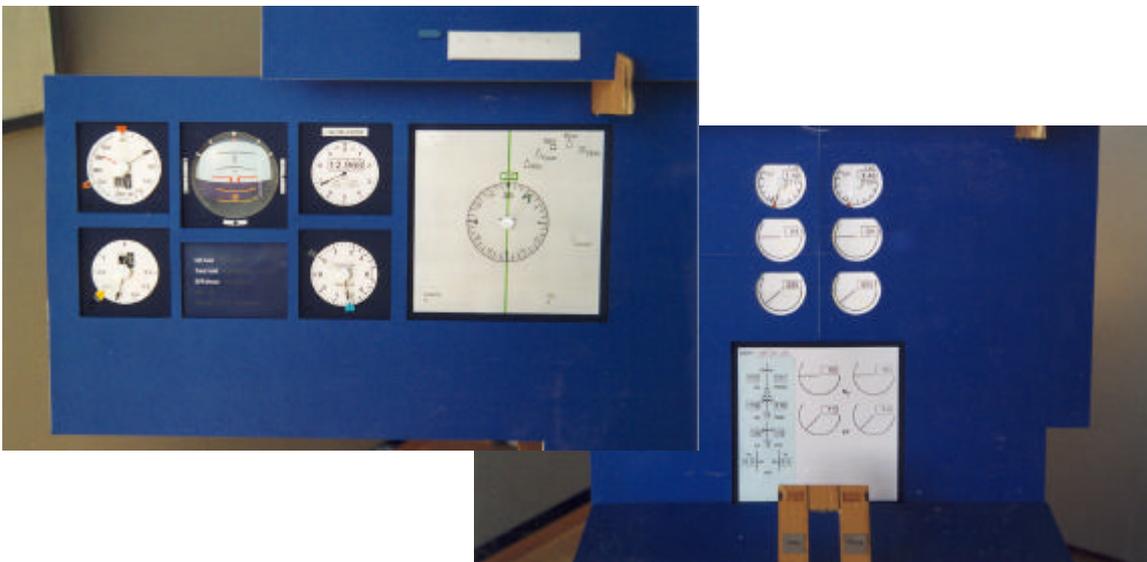


Figura 20. Panel de instrumentos

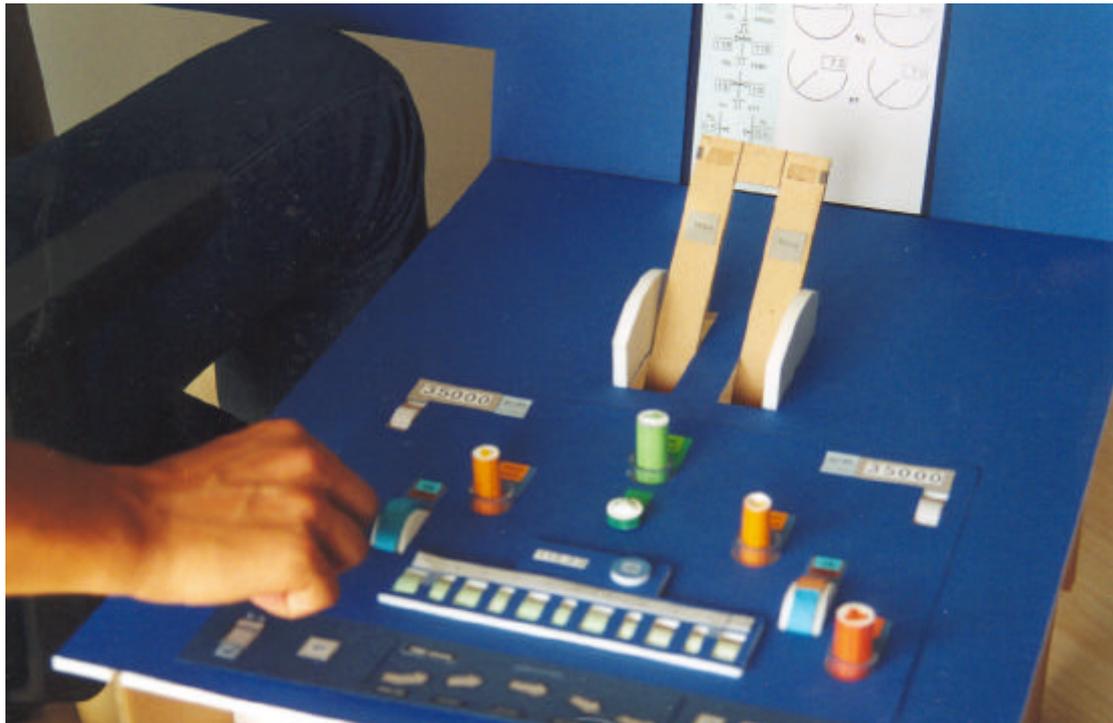


Figura 21. Panel de mandos del piloto automático

sombras que ayudan al ojo a centrarse en cada instrumento. En este sentido, también se aporta una sombra al diseño del indicador de actitud (para mejorar su visibilidad).

Los instrumentos se reproducen mediante indicaciones negras sobre un fondo gris claro también para ayudar su percepción. En este caso, se trata de impedir el efecto de atracción, de ensimismamiento que ejercen las indicaciones actuales con colores (luminosos) demasiado contrastados -efecto de atracción citado por el informe de la FAA (1996) (ver Estado del arte).

5.1.1.2 Anuncios de modos

En la propuesta los modos se anuncian de dos maneras: mediante un sistema gráfico (a base de agujas índice exteriores) y mediante un indicador de anuncios escritos.

Sistema gráfico. Lintern (1995)¹ indica que las agujas índice exteriores de los anemómetros tradicionales, que los pilotos giran alrededor de la corona del instrumento para saber en qué momento llegarán a una velocidad crítica, son muy útiles como herramientas de 'concienciación de la situación'. Por otro lado, se utilizan también agujas índice exteriores (de forma triangular y de colores) en los instrumentos tradicionales con los que el piloto comienza a pilotar. Se utilizan en el indicador de rumbo/VOR y en el indicador de velocidad y sirven para introducir, en el sistema de pilotaje automático, un valor de velocidad y de radial; sirven también como feedback visual de estos valores (feedback que, al estar situados en los mismos instrumentos, impiden que la mirada del piloto tenga que 'dispersarse'). Estas agujas índice de colores recibieron comentarios positivos en las entrevistas realizadas. Por estas razones se utiliza este sistema gráfico para crear un primer indicador de modos. El anemómetro, el indicador de número de Mach y el indicador de velocidad vertical tienen cada uno una aguja índice exterior, de color específico para cada instrumento) que se 'activa' alternativamente en cada instrumento cuando el FMS (Flight Management System) sugiere llevar, o bien una velocidad lineal (IAS o número de Mach), o bien una velocidad vertical.

Anuncios escritos. Se proporcionan también anuncios escritos de los modos activos. Se escriben sin abreviaciones para evitar problemas de comprensión citados en el informe de la FAA (1996) (ver Estado del arte) y con mayúsculas y minúsculas para mejorar la legibilidad. Por otro lado, se reduce la cantidad de modos para evitar problemas de conciencia de la situación típicos del glass-cockpit.

¹ Lintern, G. (1995). Flight instruction: the challenge from situated cognition. *The International Journal of Aviation Psychology*, 5(4), 327-350

5.1.1.3 Pantalla de navegación (Navigation Display)

Se propone un intermediario entre el indicador de rumbo/VOR tradicional y el Navigation Display de los glass-cockpit actuales: se presenta una Rosa de Rumbos (como en el indicador tradicional) rodeada de una zona en la que aparecen los waypoints hacia los que se dirige el avión (como en los glass-cockpit actuales), y los waypoints que ya han sido sobrepasados (esto último es sólo una opción en los glass-cockpit actuales; aquí se la hace obligatoria). Se hace esto para:

- aumentar la conciencia de la situación (en los accidentes de un B-757 en Cali y de un A-310 en Katmandú, la tripulación o bien no sabía si ya había pasado un waypoint de la aproximación, o bien inició un viraje en el sentido inverso al indicado)
- evitar dificultades de adaptación en las situaciones de emergencia en la que hubiera que pilotar el avión mediante el VOR tradicional (que utiliza una Rosa de Rumbos)

5.1.1.4 Instrumentos de motor

Se conserva el grafismo de los glass-cockpit actuales (semicírculos), pero se enmarca cada instrumento en el chasis de plástico que rodea las pantallas para aumentar la legibilidad de las indicaciones.

5.1.1.5 Pantalla de sistemas (System Display)

Se conserva el diseño de los glass-cockpit actuales, pero se añaden pestañas gráficas (como en los menús de tipo Windows-Excel) para ayudar al piloto:

- a identificar la página en que se encuentra (ya que pueden haber hasta 14 páginas de sistemas)
- a tener una visión global del sistema (visión que los glass-cockpit actuales no dan, -ver Estado del arte-)

Se enmarcan también estas páginas mediante grafismos horizontales que no varían de una página a otra (como en el sistema Windows) para dar la sensación de que los sistemas forman parte de un todo coherente.

5.1.2 Diseño de la automatización

Para permitir una automatización centrada en el ser humano, se decide que el piloto tenga que *mandar* él mismo los cambios de trayectoria del avión (cuando el piloto automático está conectado) para que el avión pase de un segmento del plan de vuelo a otro. En este sentido, hay una diferencia con los glass-cockpit actuales ya que éstos pueden dirigirse sucesivamente de un waypoint a otro sin intervención del piloto. En el rediseño, se decide que sea el piloto quien tenga que orientar sucesivamente la trayectoria del avión (como en los aviones de tipo Boeing B-727, B-747-200, DC-10...)

Sin embargo, en el ascenso y en la aproximación, tener que dirigir sucesivamente la trayectoria del avión podría aumentar la carga de trabajo del piloto (ya que los cambios de trayectoria son frecuentes y la tripulación tiene que atender la radio, realizar checklists...). Por eso en estas fases se permite que el avión vaya automáticamente de un waypoint a otro (como en los glass-cockpit actuales).

Cuando el piloto reorienta manualmente la trayectoria del avión para entrar en un nuevo segmento de vuelo se puede dar una imprecisión en la trayectoria que provoca un sobreconsumo de combustible. Por esto se propone un sistema que aumenta la precisión del gesto del piloto: se tiene que girar el botón de orientación del rumbo del avión sólo cuando aparece una indicación gráfica en la Pantalla de navegación, y la cantidad de giro que el piloto aplica al botón es optimizada por el FMS.

El diseño presentado implica que el piloto pulse sucesivamente unos botones específicos (despegue, ascenso, crucero, descenso y aproximación) cuando el avión comience a realizar cada una de esas fases de vuelo (para que el FMS proporcione los datos correspondientes a esa fase de vuelo). Esto puede contribuir a aumentar la conciencia de la situación ya que obliga al piloto a no alejarse de la operación durante el crucero. Cada uno de los botones mencionados tiene una forma y un tacto específicos, para disminuir la posibilidad de accionamiento erróneo.

Para permitir una automatización centrada en el ser humano se decide también que sea el piloto quien mande los cambios de régimen del avión (estos cambios de régimen son, por ejemplo en el ascenso, pasar de llevar *ta*/ velocidad linear a *ta*/ velocidad vertical). Asimismo, para que estos cambios permitan llevar el avión de manera optimizada, -con un mínimo consumo de combustible-, se decide que sea el FMS que los calcule y los vaya proponiendo al piloto. Estas propuestas se realizan mediante el sistema gráfico de agujas índice

exteriores descrito más arriba. De esta manera, el piloto tiene una visión global de las intenciones de la automatización y puede decidir seguir sus recomendaciones, o no. Si decide seguirlas, el piloto no tiene que bajar la cabeza hacia la MCDU y comenzar a teclear en sus páginas (como en los glass-cockpit actuales): simplemente tiene que girar un botón específico para hacer coincidir su aguja índice exterior (de forma triangular) con la aguja índice exterior del FMS (de forma linear). Esto hace aparecer en el instrumento una tercera forma, de tipo 'flecha', fácilmente perceptible por el piloto). Esta acción no necesita que el piloto esté mirando su mano y deje de mirar los instrumentos: sólo precisa que el piloto mire los instrumentos.

5.1.3 Panel de mando del piloto automático

Se sitúa este panel en el pedestal que se encuentra entre los dos pilotos (como en el Boeing B-727). Esta localización permite que el piloto gire los botones sin mirarlos (después de un entrenamiento para reconocerlos por su tacto y posición), concentrando su mirada en los instrumentos principales. Por eso son sólo botones de girar y apoyar: no tienen posiciones fijas de selección (que requerirían mirar).

Las funciones ofrecidas por los botones son:

- mantenimiento de velocidad linear (en nudos)
- mantenimiento de velocidad linear (en número de Mach)
- mantenimiento de velocidad vertical
- captura y mantenimiento de altitud
- mantenimiento de rumbo
- mantenimiento de track

Cada función tiene su botón para evitar los botones multifunción, criticados por el informe de la FAA (1996) (ver Estado del arte) y la literatura ergonómica (ver Norman, 1990²). Asimismo, hay una repetición de botones para el comandante y el copiloto (para que no tengan que hacer gestos incómodos de accionamiento de una única serie de botones colocados a equidistancia de ambos). Por otro lado, el diseño del botón del mantenimiento de velocidad vertical retoma el diseño que este mando tiene en los aviones B-727, B-757, B-767, DC-9... ya que este diseño obtuvo comentarios elogiosos en las entrevistas, y presenta una similitud formal y lógica con el indicador de actitud.

² Norman, D. A. (1990). *La psicología de los objetos cotidianos*. Madrid: Nerea

Existe la posibilidad de que el piloto acople el Autopilot a las recomendaciones del FMS (como en los glass-cockpit actuales). En este caso, aparece no sólo una indicación visual en las pantallas (sistema gráfico de agujas índice exteriores, -ver más arriba-) sino también una indicación táctil alrededor de cada botón, para que el piloto perciba por varios canales de información que es el FMS que está mandando el Autopilot.

5.1.4 MCDU

Se suprime la MCDU (Multipurpose Control and Display Unit) para evitar que los pilotos tengan que bajar la cabeza (y desatender el panel de instrumentos), teclear en un teclado de dimensiones reducidas y navegar por una pantalla de dimensiones reducidas mediante el poco práctico sistema actual. La MCDU se reemplaza por tres sistemas:

- un sistema para introducir los waypoints en la fase de crucero
- un sistema para introducir los datos de performance que el FMS necesita antes del vuelo
- un sistema para introducir los datos de navegación que el FMS necesita antes del vuelo y para visualizar el plan de vuelo y el aeropuerto de llegada

La decisión de separar la MCDU en sistemas distintos, con una ubicación distinta, tiene como objetivo aumentar la legibilidad global de la arquitectura del FMS: evitar que se considere a este conjunto de calculadores como un 'magma' lleno de cosas y, para eso, mostrar los elementos que componen el FMS de manera separada y clara.

Para introducir los waypoints en la fase de crucero se presenta un diseño a base de ruedas con tactos específicos que se tienen que girar (y que se pueden girar sin mirarlas). Un display situado por encima de los instrumentos principales permite al piloto visualizar sus elecciones.

Para introducir los datos de performance se presenta un diseño que imita una agenda. El piloto escribe los datos en hojas de papel impresas, y el sistema lee y registra lo escrito. El sistema para introducir los datos de navegación imita también una agenda (el reverso de esta presentando el mapa realista del plan de vuelo y del aeropuerto de llegada). La opción de diseñar agendas tiene como objetivo que el piloto se apropie el sistema (viendo que es algo familiar, que se puede tocar físicamente, coger en la mano, rellenar con un bolígrafo) para también sentirse de esta manera 'al mando' y no subordinado al ordenador.

5.1.5 Diseño de las palancas de mando y de gases

Para la palanca de mando se ofrecen dos posibilidades: o bien una palanca de tipo tradicional, en forma de cuernos, o bien una mini-palanca lateral (como en los glass-cockpit Airbus de segunda generación). Sin embargo, en esta opción, las palancas de mando del comandante y del copiloto se mueven conjuntamente para dar información táctil y visual al Piloto-No-al-Mando acerca de lo que está haciendo el Piloto-al-Mando, y para dar información a ambos pilotos de cómo el Autopilot está mandando estas palancas. De la misma manera, las palancas de gases se mueven cuando están siendo mandadas por el Autothrottle. En este sentido, se sigue la filosofía de diseño de los glass-cockpit Boeing.

5.2 Reacción de los pilotos

Se presenta la maqueta en agosto de 2002 a los pilotos nº10 (comandante de B-757) y a los pilotos nº13 y nº14 (comandantes de A-320). Para recoger sus opiniones se utiliza un cuestionario específico (ver Anexos).

Ninguno de los tres pilotos aprecia el hecho que, en el rediseño, el vuelo no se pueda efectuar de manera totalmente automática. Consideran engorrosos los sistemas alternativos a la MCDU presentados (prefiriendo la MCDU actual), y señalan (aunque con matices), que la presentación tradicional de los instrumentos de vuelo les supondría un nuevo esfuerzo de adaptación (respecto a la presentación de los glass-cockpit actuales).

A un nivel más detallado, el Piloto nº13 encuentra positiva la ubicación del panel de mando del piloto automático (en el pedestal entre los dos pilotos), mientras que los Pilotos nº10 y 14 prefieren la ubicación existente en los glass-cockpit actuales (debajo de las ventanas delanteras). Los Pilotos nº10 y nº13 encuentran innecesaria la repetición de los botones para el comandante y el copiloto, mientras que el Piloto nº14 la encuentra plausible (dependiendo del ancho del pedestal). Todos los pilotos aprecian el diseño del botón de velocidad vertical.

En lo que respecta a los instrumentos, el Piloto nº10 encuentra positivo el diseño de los indicadores de velocidad, altitud y velocidad vertical (diseño, de tipo tradicional, que existe también en su avión, el B-757) mientras que los Pilotos nº13 y 14 prefieren, respecto a los instrumentos, el diseño exacto que tienen en su avión (el A-320) y no el que se presenta en la maqueta. El Piloto nº10 indica que prefiere que la Pantalla de navegación esté ubicada debajo de la pantalla de instrumentos principales (como en su avión, el B-757), mientras que los pilotos de Airbus aprecian la ubicación propuesta en la maqueta (que retoma la disposición del Airbus). Ninguno de los pilotos aprecia el indicador de velocidad en número de Mach (que no existe en los glass-cockpit actuales como instrumento independiente), y el Piloto nº10 sugiere un diseño alternativo, más simple (presente en el B-757). Se puede ver quizá en estas últimas apreciaciones el peso de la costumbre: los pilotos prefieren en general los diseños de los instrumentos a los que ya están acostumbrados.

De manera global, el rediseño propuesto es visto como un paso atrás respecto a los glass-cockpit actuales (y no como un glass-cockpit mejorado, tal como se deseaba). Sin embargo, los tres pilotos indican que este diseño sería muy útil como herramienta de formación en las escuelas de pilotaje para explicar y acostumbrar los jóvenes pilotos al glass-cockpit. Señalan que el diseño realizado se podría o bien instalar en las avionetas avanzadas (que se utilizan

en general en el segundo año de formación), o bien reproducir en simulador, para hacer menos difícil el paso de la escuela de pilotaje a una compañía de transporte de pasajeros (en donde el glass-cockpit puede ser el primer avión que aborda el joven piloto). De esta manera, se disminuiría el esfuerzo de adaptación que los jóvenes pilotos deben realizar al pasar al glass-cockpit.